

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FÁBIO ANDRÉ NEGRI BALBO

ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA AOS ACIDENTES DA BR-277 ENTRE  
JANEIRO DE 2007 E NOVEMBRO DE 2009

CURITIBA  
2011

FÁBIO ANDRÉ NEGRI BALBO

ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA AOS ACIDENTES DA BR-277 ENTRE  
JANEIRO DE 2007 E NOVEMBRO DE 2009

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Área de Concentração em Programação Matemática, linha de pesquisa em Análise Numérica, do Departamento de Matemática, Setor de Ciências Exatas e do Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lílilana Madalena Gramani

Co-Orientador: Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto

CURITIBA

2011

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

FÁBIO ANDRÉ NEGRI BALBO

ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA AOS ACIDENTES DA BR-277 ENTRE  
JANEIRO DE 2007 E NOVEMBRO DE 2009

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, do Departamento de Matemática, Setor de Ciências Exatas e do Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liliana Madalena Gramani  
Departamento de Matemática, UFPR

Co-Orientador: Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto  
Departamento de Estatística, UFPR

Prof. Dr. Eloy Kaviski  
Departamento de Hidráulica, UFPR

Prof. Dr. Jair Mendes Marques  
PPGMNE, UFPR

Prof. Dr. Pedro Akishino  
Departamento de Transportes, UFPR

Curitiba, 15 de fevereiro de 2011.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem Ele, nada seria possível e não estaríamos aqui reunidos, desfrutando, juntos, destes momentos que nos são tão importantes.

Aos meus pais Arvelino e Antônia; pelo esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

Em especial, aos meus amigos Sandro, Marina, Luciana e Iara por sempre estarem me ajudando.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelas oportunidades que me foram dadas na vida, principalmente por ter conhecido pessoas e lugares interessantes, mas também por ter vivido fases difíceis, que foram matérias-primas de aprendizado.

Não posso deixar de agradecer aos meus pais Arvelino e Antônia, sem os quais não estaria aqui, e por terem me fornecido condições para me tornar o profissional e Homem que sou.

A meu irmão Frank, que desde pequeno me ensinou diversas coisas.

Aos meus amigos Sandro, Marina, Luciana, Iara e Rudinei que me forneceram bons momentos de discussão sobre o tema a ser abordado, e material de pesquisa.

Aos meus orientadores: Liliana Madalena Gramani e Anselmo Chaves Neto, pelas boas conversas que tivemos.

Agradeço ao policialrodoviário federal e Estatístico Nivaldo Aparecido Minervi, pelos dados fornecidos, que permitiram a realização deste trabalho, além de sua atenção e colaboração.

Não poderia deixar de fora a secretária do PPGMNE, Maristela Bandil, uma pessoa extremamente prestativa que não mede esforços para que tudo dê certo.

Várias pessoas me auxiliaram neste trabalho. A todos só posso dizer: Muito Obrigado!

O interesse que tenho em acreditar numa coisa não é prova da  
existência dessa coisa.

Voltaire

## RESUMO

Este trabalho faz um estudo dos acidentes ocorridos na BR-277 no período de janeiro de 2007 a novembro de 2009, buscando relacionar os diferentes tipos de acidentes com as condições de pista, tipos de acostamento, condições meteorológicas, sentido da rodovia, entre outras. O método utilizado para determinar essas relações foi a Análise Fatorial. Os fatores agrupam as variáveis altamente correlacionadas em grupos e determina para cada um, indicadores (escores fatoriais) com os quais é possível determinar os quilômetros da rodovia mais perigosos de acordo com cada fator. Os dados utilizados nesse trabalho são compostos por 35 planilhas, cedidas pela Polícia Rodoviária Federal do estado do Paraná, sendo que cada planilha contém os dados (qualitativos e quantitativos) dos 10.096 acidentes ocorridos entre janeiro de 2007 e novembro de 2009. Dessas planilhas foi selecionado um conjunto de variáveis o qual foi discretizado, determinando uma matriz dicotômica e em seguida uma matriz de frequências, a qual foi utilizada na Análise Fatorial. A análise fatorial foi realizada em três diferentes períodos: entre janeiro de 2007 e novembro de 2009, entre janeiro de 2009 e novembro de 2009 e em meses de férias (janeiro, fevereiro, julho e dezembro) entre janeiro de 2007 e novembro de 2009, com o objetivo de verificar se os fatores coincidem em cada análise. Em cada Análise Fatorial o número de variáveis é diferente, devido a não ocorrência de determinados tipos de acidente no período específico. Devido à grande quantidade de variáveis, a Análise Fatorial foi realizada mais de uma vez para cada período, sendo que somente a última Análise Fatorial foi interpretada e as anteriores feitas com objetivo de eliminar variáveis que eram pouco explicadas nos fatores obtidos. Como resultados pôde-se verificar, em todas as análises, que o quilômetro 584 (Cascavel - PR) é o mais problemático com relação ao número de acidentes, e que o condutor pode ser considerado o principal responsável por esses acidentes.

Palavras-chave: análise multivariada. acidentes em rodovias. BR-277. Análise Fatorial. método das componentes principais.

## **ABSTRACT**

In the work reported here is presented a study of accidents in the BR-277 from January 2007 to November 2009, seeking to relate the different types of accidents with the track conditions, sidewalk types, weather, direction of the highway, among others. The methodology used to determine these relations was the factorial analysis. Factors highly correlated variables are grouped into groups and determines for each one, indicators (factor scores) with which it is possible to determine the miles of road more dangerous, according to each factor. The data used in this study consists of 35 sheets, provided by the Federal Highway Police in the state of Paraná, and each worksheet contains the data (quality) of the 10,096 accidents that occurred between January 2007 and November 2009. These worksheets were selected a set of variables which was discretized, leading to a dichotomous matrix and then an array of frequencies, which was used in factor analysis. Factorial analysis was performed in three different periods: between January 2007 and November 2009, between January 2009 and November 2009 and holiday months (January, February, July and December) between January 2007 and November 2009, in order to ascertain whether the factors coincide for each analysis. In each factor analysis the number of variables is different because the non-occurrence of certain types of accidents in the specific period. Due to the large number of variables, factor analysis was performed more than once for each period, and only the last factor analysis was interpreted and made with the previous goal of eliminating variables that were hardly explained the factors obtained. The results could be verified in all tests, the 584 km (Cascavel - PR) is more problematic with regard to the number of accidents, and the driver can be considered the main responsible for these accidents.

Key-words: multivariate analysis. highway accidents. BR-277. factorial analysis. method of principal components.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS .....	23
FIGURA 2 – DISTRIBUIÇÃO DAS MORTES NOS ACIDENTES DE TRÂNSITO POR CATEGORIA .....	28
FIGURA 3 – ÍNDICE DE MORTE NO TRÂNSITO NO BRASIL .....	28
FIGURA 4 – ACIDENTES RODOVIÁRIOS ENTRE 1952 E 2009 .....	29
FIGURA 5 – MAPA DO PARANÁ DESTACANDO A BR-277 .....	30
FIGURA 6 – CONCESSIONÁRIAS QUE ADMINISTRAM A BR-277 .....	32
FIGURA 7 – TIPOS DE ACIDENTES NA BR-277 EM 2009 .....	33
FIGURA 8 – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS EM QUE OCORRERAM OS ACIDENTES .....	34
FIGURA 9 – TEMPO DE HABILITAÇÃO DOS CONDUTORES .....	35
FIGURA 10– HORAS DIRIGINDO ATÉ ACONTECER O ACIDENTE .....	36
FIGURA 11– VEÍCULOS ENVOLVIDOS NOS ACIDENTES .....	36
FIGURA 12– TESTE DE NORMALIDADE .....	63
FIGURA 13– HISTOGRAMAS DAS DISTRIBUIÇÕES DOS ACIDENTES .....	64
FIGURA 14– DISPERSÃO DO FATORES 1 E 2 (2007 - 2009) .....	73
FIGURA 15– DISPERSÃO DOS ESCORES FATORIAIS (2007 - 2009) .....	74
FIGURA 16– QUILOMETRO 584: CASCAVEL - PR .....	78
FIGURA 17– QUILOMETRO 726: FOZ DO IGUAÇU - PR .....	78
FIGURA 18– QUILOMETRO 728: FOZ DO IGUAÇU - PR .....	79
FIGURA 19– DISPERSÃO DOS FATORES 1 E 2 (2009) .....	84
FIGURA 20– DISPERSÃO DOS ESCORES FATORIAIS (2009) .....	84
FIGURA 21– QUILOMETRO 1: PARANAGUÁ - PR .....	91

FIGURA 22– DISPERSÃO DOS FATORES 1 E 2 (MESES DE FÉRIAS) .....	96
FIGURA 23– DISPERSÃO DOS ESCORES FATORIAIS (MESES DE FÉRIAS) .	97
FIGURA 24– QUILOMETRO 74: CURITIBA - PR .....	104
FIGURA 25– QUILOMETRO 74: CURITIBA - PR .....	124
FIGURA 26– QUILOMETRO 74: CURITIBA - PR .....	124
FIGURA 27– QUILOMETRO 74: CURITIBA - PR .....	125
FIGURA 28– QUILOMETRO 584: CASCAVEL - PR .....	125
FIGURA 29– QUILOMETRO 584: CASCAVEL - PR .....	126
FIGURA 30– QUILOMETRO 584: CASCAVEL - PR .....	126
FIGURA 31– QUILOMETRO 584: CASCAVEL - PR .....	127
FIGURA 32– QUILOMETRO 728: FOZ DO IGUAÇU - PR .....	127
FIGURA 33– QUILOMETRO 728: FOZ DO IGUAÇU - PR .....	128
FIGURA 34– QUILOMETRO 726: FOZ DO IGUAÇU - PR .....	128

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	–	RODOVIAS COM MAIOR NÚMERO DE MORTES .....	17
TABELA 2	–	PRINCIPAIS CAUSAS DE MORTE NO MUNDO EM 2004 .....	26
TABELA 3	–	PRINCIPAIS CAUSAS DE MORTE NO MUNDO EM 2030 .....	26
TABELA 4	–	RESULTADOS DA ANÁLISE FATORIAL .....	65
TABELA 5	–	RESULTADOS DA ANÁLISE FATORIAL (2007 - 2009): PESOS E COMUNALIDADES .....	66
TABELA 6	–	RANKING DOS QUILOMETROS (2007 - 2009) .....	73
TABELA 7	–	ESCORES FATORIAIS FINAIS PONDERADOS (2007 - 2009) ...	77
TABELA 8	–	RANKING DOS QUILOMETROS (2009) .....	83
TABELA 9	–	RESULTADOS DA ANÁLISE FATORIAL (2009): PESOS E COMUNALIDADES .....	85
TABELA 10	–	ESCORES FATORIAIS FINAIS PONDERADOS (2009) .....	90
TABELA 11	–	RANKING DOS QUILOMETROS (MESES DE FÉRIAS) .....	97
TABELA 12	–	RESULTADOS DA ANÁLISE FATORIAL (MESES DE FÉRIAS): PESOS E COMUNALIDADES .....	98
TABELA 13	–	ESCORES FATORIAIS FINAIS PONDERADOS (FÉRIAS) .....	104
TABELA 14	–	QUILOMETRAGEM OFICIAL DA BR-277 .....	121

## LISTA DE SIGLAS

ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
OMS	Organização Mundial da Saúde
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
Denatran	Departamento Nacional de Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes
PRF	Polícia Rodoviária Federal
DERs	Departamento de Estradas de Rodagem
Detrans	Departamentos Estaduais de Trânsito
AIDS	<i>Acquired immune deficiency syndrome</i>
HIV	<i>Human immuno-Deficiency virus</i>
AETT	Anuário Estatístico de Transportes Terrestres
CER	Comissão de Estradas de Rodagem
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
SETR	Secretaria de Estado dos Transportes
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
MSA	<i>measure of sampling adequacy</i>
VBA	Visual Basic for Applications



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO	19
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>20</b>
2.1 ACIDENTES DE TRÂNSITO	20
2.1.1 Definições e responsabilidades	20
2.1.2 Técnicas e modelos	23
2.1.3 Acidentes de trânsito no mundo	25
2.1.4 Acidentes de trânsito no Brasil	27
2.1.5 A BR-277	30
2.1.5.1 História da BR-277	31
2.1.5.2 Perfil dos acidentes na BR-277	33
2.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	37
2.2.1 Componentes Principais via Matriz de Covariâncias	38
2.2.2 Componentes Principais via Matriz de Correlação Amostral	40
2.3 ANÁLISE FATORIAL	41
2.3.1 Modelo Fatorial Ortogonal	43
2.3.2 Método das componentes principais via matriz de covariância	45
2.3.3 Método das componentes principais via matriz de correlação amostral	47
2.3.4 Determinação do número de fatores	48

2.3.5 Rotação ortogonal de fatores .....	48
2.3.5.1 Critério varimax .....	49
2.3.5.2 Critério quartimax .....	49
2.3.5.3 Critério orthomax .....	50
2.3.6 Determinação dos escores fatoriais .....	50
2.3.6.1 Método dos mínimos quadrados ponderados .....	51
2.3.7 Adequação dos dados à Análise Fatorial .....	52
2.3.7.1 Teste de esfericidade de Bartlett .....	52
2.3.7.2 Medida de adequação da amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) .....	53
2.4 VERIFICAÇÃO DA HIPÓTESE DE NORMALIDADE MULTIVARIADA .....	53
<b>3 MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>55</b>
3.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS .....	55
3.2 METODOLOGIA UTILIZADA .....	62
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>63</b>
4.1 APLICAÇÃO DA ANÁLISE FATORIAL DE 2007 A 2009 .....	65
4.1.1 Discussão da Análise Fatorial de 2007 a 2009 .....	74
4.1.2 <i>Ranking</i> dos piores quilômetros entre 2007 e 2009 .....	77
4.2 APLICAÇÃO DA ANÁLISE FATORIAL EM 2009 .....	79
4.2.1 Discussão da Análise Fatorial em 2009 .....	88
4.2.2 <i>Ranking</i> dos quilômetros mais perigosos em 2009 .....	90
4.3 APLICAÇÃO DA ANÁLISE FATORIAL EM MESES DE FÉRIAS DE 2007 A 2009 .....	91
4.3.1 Discussão da Análise Fatorial em meses de férias .....	101
4.3.2 <i>Ranking</i> dos quilômetros mais perigosos em meses de férias .....	103
<b>5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE A – CÓDIGO UTILIZADO PARA DISCRETIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS</b>	<b>111</b>

<b>APÊNDICE B – PROGRAMA ANÁLISE FATORIAL .....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO A – QUILOMETRAGEM DA BR-277 DE ACORDO COM O MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES .....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO B – IMAGENS DOS QUILÔMETROS MAIS PERIGOSOS .....</b>	<b>124</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A BR-277 é uma rodovia federal da malha rodoviária do Brasil localizada no estado do Paraná. Foi inaugurada em março de 1969, e tem aproximadamente 730 quilômetros de extensão, com início no Porto de Paranaguá e término na Ponte da Amizade, em Foz do Iguaçu. É considerada a principal via rodoviária do Paraná e uma das mais importantes do Brasil, e é conhecida como o “corredor do Mercosul”. Desempenha ainda, um importante papel no escoamento de produtos agropecuários produzidos no estado do Paraná rumo à exportação.

Como a BR-277 se localiza em uma região estratégica, cada vez mais o tráfego de veículos tem aumentado e consequentemente o número de acidentes registrados também têm crescido<sup>1</sup>. Com o objetivo de encontrar os quilômetros desta rodovia com maior número de acidentes e identificar suas possíveis causas, será usado uma técnica estatística multivariada (em um banco de dados referente aos 10.096 acidentes na BR-277 no período de janeiro de 2007 à novembro de 2009), conhecida como Análise Fatorial (JOHNSON; WICHERN, 2007).

Na literatura podem ser encontrados trabalhos que usam a Análise Fatorial para estudar problemas de trânsito, como exemplo tem-se Bartilotti (2009) que analisa a percepção do motorista no trânsito, Pires e Maia (2009) que fazem um estudo sobre as vítimas de acidentes de trânsito, Silva (2004) que estuda o comportamento dos motoristas, entre outros.

Neste trabalho a Análise Fatorial tem por objetivo agrupar variáveis correlacionadas em fatores, resumindo assim a grande quantidade de variáveis envolvidas nos acidentes, para depois relacionar os quilômetros da rodovia com as principais causas

---

<sup>1</sup>De acordo com o banco de dados da Polícia Rodoviária Federal no Paraná em 2007 foram registrados 2.887 acidentes, em 2008, 3.470 acidentes e de janeiro à novembro de 2009, 3.739 acidentes na BR-277.

e tipos de acidentes, com o uso dos escores fatoriais. A Análise Fatorial foi a técnica multivariada que mais adequada, uma vez que a análise de agrupamento (MINGOTI, 2005) é de difícil interpretação devido ao grande número de variáveis. Já a análise de correlação canônica (JOHNSON; WICHERN, 2007) necessita de grupos de variáveis pré-definidos, o que supõe o conhecimento das variáveis que são correlacionadas.

A estrutura deste trabalho está dividida em mais quatro capítulos, detalhados em seguida:

No Capítulo 2 é feita uma abordagem dos acidentes de trânsito no mundo, no Brasil e mais especificamente na BR-277. É realizado também o desenvolvimento matemático da análise de componentes principais e da Análise Fatorial, onde explica-se os testes que verificam se a Análise Fatorial é adequada ao conjunto de dados, o modelo fatorial ortogonal, o modelo fatorial pelo método das componentes principais, critérios de rotação e por fim a obtenção dos escores fatoriais pelos mínimos quadrados ponderados.

No Capítulo 3 é descrito todo o processo de análise de dados, tais como, a composição da amostra utilizada, os tipos de variáveis envolvidas, a maneira como as técnicas e testes multivariados foram aplicados.

No Capítulo 4 é realizado uma discussão dos resultados obtidos com a Análise Fatorial, tais como os fatores observados, comunalidades e escores fatoriais que irão ajudar na interpretação e conclusão dos resultados no Capítulo 5.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Todos os dias é possível encontrar nos meios de comunicação, notícias sobre acidentes de trânsito e suas vítimas. Considerando-se apenas os acidentes ocorridos em rodovias federais policiadas, em 2008 foram registrados no Brasil, 138.802 acidentes envolvendo 902.758 pessoas, sendo que destas, 812.673 saíram ilesas, 83.227

TABELA 1: Rodovias brasileiras com maior número de mortes entre jul/2004 e jun/2005

	Rodovia Federal	Estados	Acidentes	Mortos	Acid./km	Mortes/km
1.	BR-101	RN-PB-PE-AL-SE-BA-ES-RJ SP-PR-SC-RS	19.996	1.060	4,38	0,23
2.	BR-116	CE-PB-PE-BA-MG-RJ-SP-PR SC-RS	23.135	1.030	5,27	0,23
3.	BR-040	DF-GO-MG-RJ	6.219	302	5,27	0,27
4.	BR-381	ES-MG-SP	7.420	297	6,28	0,25
5.	BR-153	PA-TO-GO-MG-SP-PR-SC-RS	3.645	237	0,84	0,05
6.	BR-364	SP-MG-GO-MT-RO-AC	3.123	219	0,72	0,05
7.	BR-316	PA-MA-PI-PE-AL	2.691	198	1,31	0,10
8.	BR-262	ES-MG-SP-MS	3.661	169	1,59	0,07
9.	BR-163	RS-SC-PR-MS-MT-PA	1.887	157	1,06	0,09
10.	BR-277	PR	2.847	125	4,06	0,17
11.	BR-230	PB-CE-PI-MA-TO-PA-AM	1.877	124	0,47	0,03
12.	BR-222	CE-PI-MA-PA	964	123	0,53	0,07
13.	BR-060	DF-GO-MS	1.650	108	1,25	0,08

FONTE: Adaptado de IPEA e DENATRAN (2006)

ficaram feridas e 6.858 morreram (AETT, 2009)<sup>2</sup>. Estes dados mostram o quanto as rodovias federais estão perigosas.

Tratando mais especificamente da BR-277, de acordo com o IPEA e DENATRAN (2006)<sup>3</sup> em um estudo realizado entre jul/2004 e jun/2005, a BR-277 ocupa a décima posição, no *ranking* das rodovias com maior número de mortos (TABELA 1). Analisando-se o número de mortes por quilômetro e quinto com relação aos acidentes por quilômetro. Muitos desses acidentes com vítimas ocorrem em um trecho da BR-277, não duplicado, entre as cidades de Cascavel e Medianeira. Desde 2006 a sociedade local vem se organizando na tentativa de duplicar esse trecho, o que não é uma tarefa fácil, pelo motivo desse trecho ser uma parte da concessão da Ecocatartas (Empresa que administra o trecho entre Guarapuava e Foz do Iguaçu). Essa campanha é divulgada por meio de um *Blog* chamado “BR-277: Duplicação pela vida”, que pode ser encontrado em (BR-277, 2009), onde são postadas informações sobre os acidentes naquele trecho e também como andam as negociações referente a duplicação.

<sup>2</sup>Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres da ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres).

<sup>3</sup>IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada e DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito.

A motivação principal do presente trabalho é encontrar relações entre variáveis envolvidas nos acidentes de trânsito (condições da pista, condições meteorológicas, tipos de acidentes, causas dos acidentes, entre outras), e além disso, determinar os principais pontos da rodovia (BR-277), que se associam a essas variáveis, verificando se existem mais trechos problemáticos, assim como o trecho Cascavel-Medianeira. Essas relações são necessárias para que se possa fazer planejamentos e execução de melhorias na tentativa de reduzir o número de acidentes e vítimas do trânsito.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é agrupar variáveis relacionadas com os acidentes de trânsito na BR-277 e determinar por meio dos escores fatoriais os pontos mais perigosos da rodovia, dando uma visão geral do perfil desses acidentes, utilizando os dados fornecidos pela Polícia Rodoviária Federal, no período de janeiro de 2007 a novembro de 2009.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Realizar a Análise Fatorial em diferentes períodos e verificar se os fatores obtidos são os mesmos em cada período.
- b) Identificar dentre as condições da rodovia, meteorológicas e dos motoristas, qual a mais explicada pela Análise Fatorial a partir dos dados analisados.
- c) Analisar os escores fatoriais em cada período e verificar se os pontos mais perigosos da BR-277 são os mesmos para cada Análise Fatorial.
- d) A partir dos pontos mais perigosos obtidos pelos escores fatoriais, determinar as possíveis causas de acidentes nesses pontos.

### 1.3 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A importância deste trabalho está na determinação das relações entre variáveis envolvidas nos acidentes de trânsito com determinados quilômetros da rodovia, neste caso a BR-277. Utilizando técnicas da Estatística Multivariada para o propósito acima, consegue-se resultados objetivos que podem vir a ajudar em planejamentos para que haja redução dos acidentes, e consequentemente das vítimas, nos piores quilômetros da rodovia determinados por este trabalho.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo é formado por 5 seções. A seção 2.1 refere-se aos acidentes de trânsito no mundo, no Brasil e na BR-277, assim como a definição de acidente de trânsito e os órgãos responsáveis por fiscalizar e propor medidas para redução dos acidentes, além de um apanhado geral sobre os trabalhos publicados com relação aos acidentes de trânsito e suas consequências. As seções 2.2, 2.3 e 2.4 descrevem as técnicas estatísticas multivariadas utilizadas nesse trabalho, tais como Análise de Componentes Principais, Análise Fatorial e o teste de normalidade multivariada, respectivamente.

### 2.1 ACIDENTES DE TRÂNSITO

Ultimamente os acidentes de trânsito se tornaram uma preocupação mundial devido ao grande número de mortos e feridos. Para entender os acidentes de trânsito, esta seção está subdividida em 5 seções. A seção 2.1.1 traz as definições e responsabilidades dos acidentes de trânsito. Na seção 2.1.2 é realizado um levantamento dos principais trabalhos publicados com relação aos acidentes de trânsito. Nas seções 2.1.3, 2.1.4 e 2.1.5 é realizado um levantamento sobre os acidentes de trânsito no mundo, no Brasil e na BR-277, respectivamente.

#### 2.1.1 Definições e responsabilidades

De acordo com o CID-10 (2008)<sup>1</sup> da OMS (Organização Mundial da Saúde) o acidente de trânsito é todo acidente com veículo ocorrido na via pública, isto é, originando-se, terminando ou envolvendo um veículo parcialmente situado na via pública. O acidente de veículo é considerado como tendo ocorrido na via pública a

---

<sup>1</sup>Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde, criado pela OMS.

menos que haja a especificação de outro local, exceto nos casos de acidentes envolvendo somente veículos especiais a motor (veículos a motor não-de-circulação) que, salvo menção em contrário, não são classificados como acidentes de trânsito.

Segundo o IPEA e DENATRAN (2006) o acidente de trânsito pode ser entendido como uma estrutura básica envolvendo os componentes:

- a(s) pessoa(s) envolvida(s) - feridos, mortos e pessoas sem ferimento algum, incluindo-se pedestres que venham a participar do acidente;
- o(s) veículo(s) envolvido(s) - parcial ou totalmente destruídos; com pequenos problemas ou, ainda, sem dano algum;
- a via e o ambiente - mobiliário, bens e propriedades públicas e privadas, além da via e seus equipamentos complementares, bem como as condições climáticas, iluminação, vegetação e tudo o mais que compõe o ambiente;
- o aparato institucional e os aspectos socioambientais - legislação, fiscalização e gestão da circulação de bens e pessoas e administração da via e de seu entorno, bem como as “regras” não escritas e não oficiais aceitas pela maioria dos usuários, que venham a fazer parte da cultura regional e que possam influenciar nos acidentes.

Essa separação permite que sejam feitas investigações mais profundas na análise de acidentes de trânsito.

Quanto a segurança e prevenção de acidentes de trânsito em rodovias federais, o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) afirma que a obrigação é das autoridades gestoras e operadoras de trânsito e transporte relacionadas o quadro 1, adiante.

De acordo com Akishino (1995), existem alguns mitos referentes aos acidentes de trânsito, dentre eles pode-se destacar:

Ministério das Cidades	Departamento Nacional de Trânsito (Denatran)
Ministério dos Transportes	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT)
Ministério da Justiça	Polícia Rodoviária Federal (PRF)
Governos Estaduais	Departamento de Estradas de Rodagem (DERs) e Departamentos Estaduais de Trânsito (Detrans)

QUADRO 1 - Autoridades gestoras e operadoras de trânsito e transporte segundo o Código de Trânsito Brasileiro

FONTE: Código de Trânsito Brasileiro CTB (2008)

- os acidentes são inevitáveis;
- 90% dos acidentes são causados por falha humana (motoristas e pedestres);
- o maior problema é a falta de fiscalização;
- a única solução é a educação de trânsito.

Akishino (1995) afirma que a maioria dos acidentes de trânsito são evitáveis, sendo causados pela combinação do desempenho inadequado dos motoristas e pedestres, condições insatisfatórias dos veículos em circulação e características impróprias das vias e da sinalização. Destacando ainda que as causas mais importantes são: o rápido crescimento da frota de veículos, pouca intensidade na aplicação da lei, impossibilidade de grandes investimentos na melhoria da estrutura viária de cidades e rodovias, falta de priorização do problema pelos órgãos governamentais, entre outros.

Gold (1999) defende que é mais vantajoso investir em engenharia de tráfego do que em programas de educação e fiscalização. Os resultados das intervenções são imediatos, passíveis de comprovação, mais duradouros e pouco dependentes do investimento em recursos humanos. Segundo Azevedo (2006) algumas experiências brasileiras e estrangeiras, nas diversas intervenções viárias, alcançaram redução superior a 30% na frequência de acidentes nos locais tratados. As intervenções de engenharia realizadas nos pontos críticos em geral possuem elevado índice custo/benefício decorrente dos acidentes evitados, justificando plenamente os investimentos.

Além da discussão sobre responsabilidades e obrigações no trânsito, destacam-se na literatura alguns trabalhos sobre acidentes de trânsito, que serão vistos na próxima seção.

### 2.1.2 Técnicas e modelos

Atualmente vários pesquisadores têm trabalhado no sentido de determinar as condições que influenciam os acidentes de trânsito. Dentre eles pode-se destacar o trabalho de Lee, Chung e Son (2008) que utiliza os dados dos acidentes em rodovias da Coreia do Sul para criar relações entre as condições da rodovia, do motorista e condições ambientais com a gravidade do acidente. Para determinar essas relações o autor utiliza primeiramente a Análise Fatorial para obter as variáveis latentes (fatores) e em seguida faz uso da modelagem de equações estruturais. Como resultados o autor conclui que as condições da rodovia tem um peso maior com relação a gravidade dos acidentes. O modelo obtido pode ser observado na figura 1.

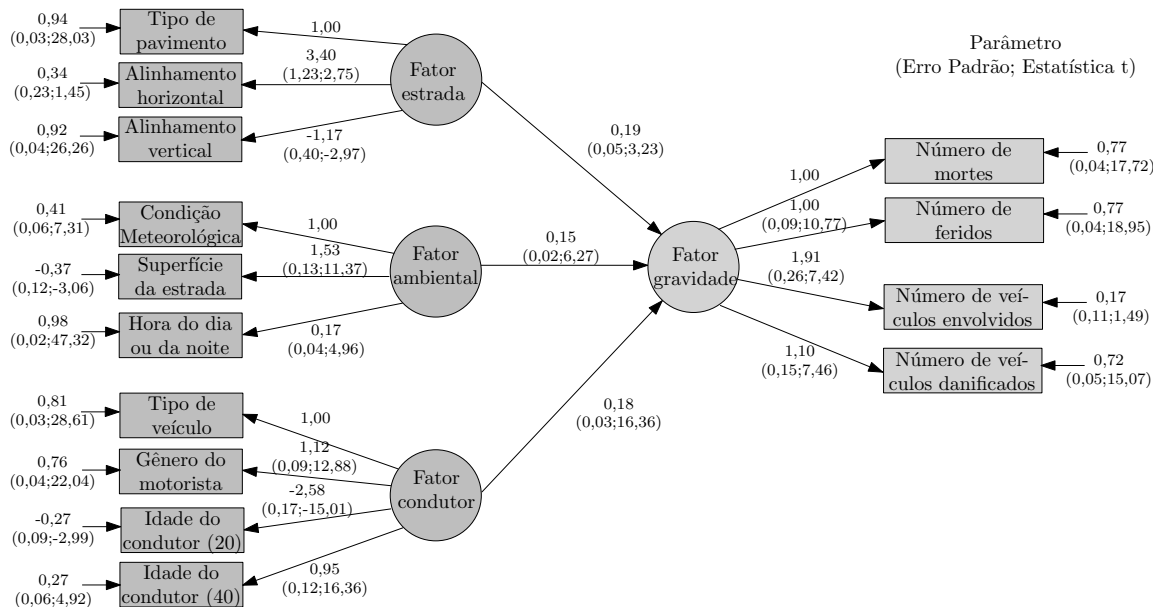


FIGURA 1: Resultado da modelagem de equações estruturais

FONTE: Lee, Chung e Son (2008)

Outros trabalhos que utilizam a Análise Fatorial para resolver problemas no trânsito, podem ser encontrados em Bartilotti (2009) que analisa a percepção do motorista

no trânsito, em Pires e Maia (2009) que fazem um estudo sobre as vítimas de acidentes no trânsito e em Silva (2004) que estuda o comportamento dos motoristas. Os resultados obtidos neste trabalho, que utilizam a Análise Fatorial em acidentes de trânsito, podem ser encontrados em Balbo *et al.* (2010b), Ferreira *et al.* (2010) e Balbo *et al.* (2010a).

Akgüngör e Yildiz (2007) têm trabalhado com análise de sensibilidade na previsão do número de acidentes em rodovias, levando em conta a geometria da rodovia e as características do terreno. Milton, Shankar e Mannering (2008) propôs um modelo de regressão logística misto, utilizando dados de rodovias do estado de Washington (EUA). Conclusões do estudo indicaram que as variáveis relativas ao volume como o tráfego médio diário por faixa, média diária de tráfego de caminhões, número de nós de ligação por milha e efeitos climáticos como neve são melhor modelados como parâmetros aleatórios, enquanto que as características da estrada, como o número de curvas horizontais, qualidade da via e o atrito do pavimento são melhor modeladas como parâmetros fixos. Kim *et al.* (2007) realizou uma pesquisa dos fatores que contribuem para a gravidade da lesão de ciclistas em acidentes de veículo a motor e bicicleta usando um modelo de regressão logística multinomial. O modelo prevê a probabilidade de quatro resultados para a gravidade da lesão : incapacidade, fatal, a não incapacidade e sem lesão. Os resultados mostraram vários fatores que dão ao ciclista o dobro da possibilidade de sofrer um ferimento fatal. Entre elas, o mau tempo, rua sem iluminação, horário de pico (06:00 - 9:59), colisão frontal, a velocidades do veículo acima de 48,3 km/h, caminhão envolvido, motorista embriagado, ciclista com 55 anos ou mais, e ciclista embriagado.

Existem autores de diferentes partes do mundo que trabalham com acidentes de trânsito, porém utilizando outras técnicas, ficando distante deste trabalho. Como os acidentes de trânsito se tornaram um objeto de estudo em diferentes países, na seção 2.1.3 será realizado um levantamento sobre as condições atuais dos acidentes de trânsito no mundo.

### 2.1.3 Acidentes de trânsito no mundo

Mais de 1,2 milhões de pessoas no mundo morrem a cada ano devido aos acidentes de trânsito e entre 20 e 50 milhões ficam feridas de acordo com a Organização Mundial de Saúde - OMS (2009). Na maioria das regiões do mundo a “epidemia do trânsito” continua crescendo. Os países com baixa e média renda são os que têm os maiores índices de fatalidades nas estradas (21,5 e 19,5 mortes por 100 mil habitantes, respectivamente). Em países ricos esse índice cai para 10,3 mortes por 100 mil habitantes. Além disso 90% das fatalidades ocorrem em países de baixa e média renda, sendo que estes possuem apenas 48% dos veículos existentes. Nas últimas 5 décadas, a morte devido a acidentes de trânsito tem diminuído em muitos países ricos. Entretanto, mesmo nesses países o acidente de trânsito continua a ser uma das principais causas de morte, ferimento e incapacidade.

Quase metade das mortes em acidentes trânsito são dos “usuários vulneráveis das estradas”<sup>2</sup>. A proporção de mortes desse grupo é alta nas economias mais pobres. Por exemplo, em países ricos da América 65% das mortes no trânsito são de ocupantes de veículos. Essa situação é bem diferente em países pobres do pacífico ocidental, onde 70% das mortes nas estradas é justamente dos usuários vulneráveis da estrada.

Quanto as leis apropriadas para redução de acidentes em áreas urbanas, 29% dos países possuem leis adequadas e apenas 10% as executam. Mais de 90% dos países possuem algum tipo de lei nacional para motoristas alcoolizados, porém apenas 49% estipulam um nível de concentração de álcool no sangue menor que 0,05 gramas por decilitro. Similarmente, somente 40% dos países possuem leis para uso de capacete em motocicletas para motorista e passageiros. Quanto ao cinto de segurança, 57% dos países possuem leis que obrigam ou regulamentam o seu uso. Com relação ao uso de equipamentos para retenção de crianças em automóveis, 90% dos países ricos possuem leis apropriadas, enquanto que em países de baixa renda, apenas 20%

---

<sup>2</sup>De acordo com a OMS (2009) este grupo é formado pelos pedestres, ciclistas e usuários de veículos motorizados de duas rodas.

possuem algum tipo de lei. De acordo com OMS (2009) é necessário que as leis de segurança rodoviária sejam melhoradas e, além disso, há necessidade de cooperação entre órgãos da saúde, polícia e transportes no desenvolvimento e implementação na estratégia de prevenção de acidentes de trânsito.

A “epidemia do trânsito” se tornou uma problemática mundial com forte impacto sobre a saúde pública. Em 2004 os acidentes de trânsito ocupavam a nona posição dentre as principais causas de morte (TABELA 2). Se nada for feito a OMS (2009) prevê que em 2030 os acidentes de trânsito serão a quinta maior causa de mortalidade, superando até a AIDS/ HIV (TABELA 3). Os valores das porcentagem de ambas as tabelas são iguais para 2004 e 2030.

TABELA 2: Principais causas de mortes no mundo em 2004

<i>Rank</i>	Causa Principal	%
1	Doenças do coração	12,2
2	Doenças neurovasculares	9,7
3	Infecções das vias respiratórias	7,0
4	Doença crônica de obstrução pulmonar	5,1
5	Doenças diarreicas	3,6
6	HIV/AIDS	3,5
7	Tuberculose	2,5
8	Câncer de pulmão, traqueia e brônquios	2,3
9	Acidentes de Trânsito	2,2
10	Prematuridade e baixo peso ao nascer	2,0

FONTE: Adaptado de OMS (2009)

TABELA 3: Previsão das principais causas de mortes no mundo em 2030

<i>Rank</i>	Causa Principal	%
1	Doenças do coração	12,2
2	Doenças neurovasculares	9,7
3	Doença crônica de obstrução pulmonar	7,0
4	Infecções das vias respiratórias	5,1
5	Acidentes de Trânsito	3,6
6	Câncer de pulmão traqueia e brônquios	3,5
7	Diabetes Mellitus	2,5
8	Doença cardíaca hipertensiva	2,3
9	Câncer de estômago	2,2
10	HIV/AIDS	2,0

FONTE: Adaptado de OMS (2009)

Ao se considerar os intervalos de idade para analisar a porcentagem de mortalidade, de acordo com a OMS (2009) em um estudo publicado em 2004, os acidentes de trânsito são a maior causa de morte de jovens entre 15 e 29 anos, a segunda maior entre jovens de 5 a 14 anos e a terceira maior em pessoas com idade entre 30 e 44 anos. Isso mostra que a maior parte das pessoas que morrem em acidentes de trânsito estão no auge de sua capacidade produtiva.

Aproximadamente 62% de todos os acidentes de trânsito ocorrem em 10 países. Ordenando esses países de acordo com o número de acidentes, tem-se: China, Índia, Nigéria, Estados Unidos, Paquistão, Indonésia, Rússia, Brasil, Egito e Etiópia. O Brasil ocupa a oitava posição com relação ao número de mortos em acidentes de trânsito no mundo. Sendo assim, na seção 2.1.4, será realizado um levantamento sobre os acidentes de trânsito no Brasil.

#### 2.1.4 Acidentes de trânsito no Brasil

De acordo com o relatório da OMS (2009) em 2006 ocorreram 35.155 mortes devido aos acidentes de trânsito no Brasil, sendo que destes 82% eram do sexo masculino e apenas 18% do sexo feminino. Levando em consideração as vítimas não fatais, no mesmo período, 407.685 pessoas sofreram ferimentos ou lesões devido aos acidentes de trânsito. Separando as mortes por categorias, o gráfico da figura 2 mostra que mais da metade das mortes (53%) é de pedestres, ciclistas e motoristas de veículos de 2 ou 3 rodas.

Embora o Brasil possua leis para limites de velocidade, motoristas alcoolizados, capacetes em usuários motocicletas, uso do cinto de segurança e utilização da cadeirinha para crianças, os índices de mortalidade continuam altos, de acordo com o gráfico da figura 3, pode-se observar que em 2006 ocorreram aproximadamente 20 mortes por 100 mil habitantes, o que é um número alto quando comparado com países ricos que tem um índice de 10,3 mortes por 100 mil habitantes.



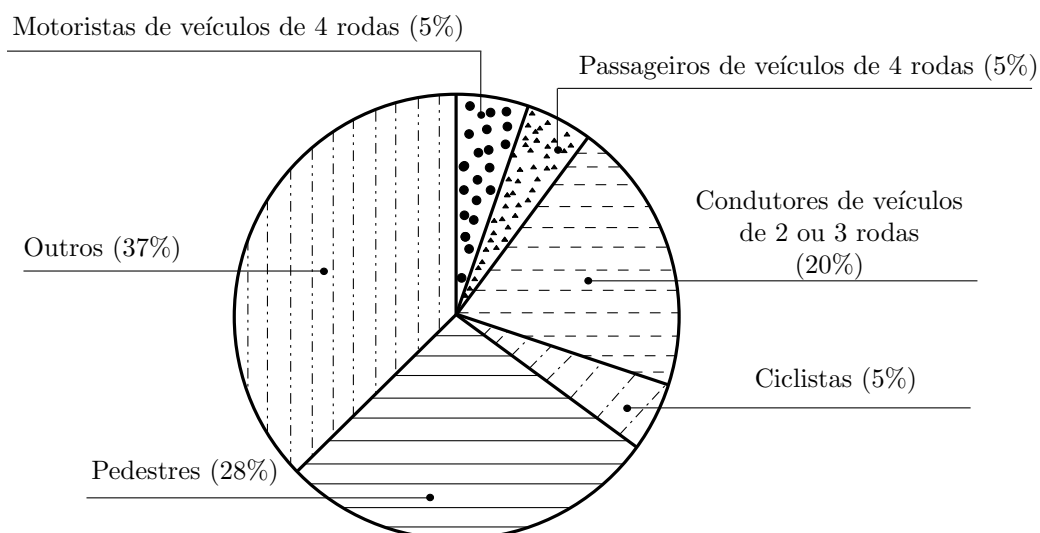


FIGURA 2: Distribuição dos acidentes de trânsito por categoria

FONTE: OMS (2009)

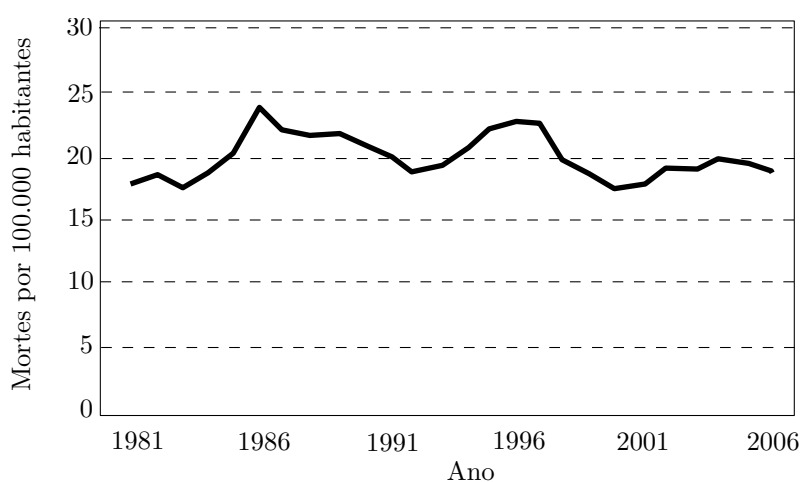


FIGURA 3: Índice de morte no trânsito no Brasil

FONTE: OMS (2009)

De acordo com o Anuário Estatístico de Acidentes de Trânsito (AETT) - 2009 (DNIT, 2010), o número de acidentes registrados pela malha rodoviária federal policiada têm crescido. O gráfico da figura 4 mostra a relação entre a quantidade de quilômetros mantidos pela rede rodoviária federal e o número de acidentes no período de 1952 a 2009.

Nos últimos anos pode-se observar o crescimento do número de acidentes. Em 2006 foram registrados 110.391 acidentes e, em 2009, 158.609 acidentes (DNIT,

2010). Houve um aumento de aproximadamente 48.000 acidentes considerando-se que a malha rodoviária nesse período se manteve constante com 57.352 quilômetros de rodovia policiados.

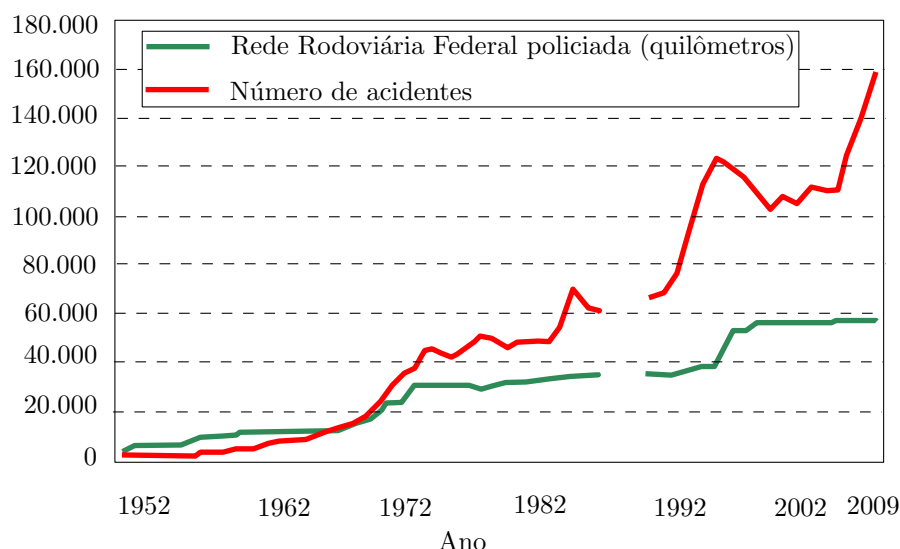


FIGURA 4: Relação entre quantidade de quilômetros administrados pela malha rodoviária federal e quantidade de acidentes entre 1952 e 2009

FONTE: Adaptado de DNIT (2010)

Utilizando informações sobre os acidentes fornecidos por órgãos do quadro 1, um levantamento foi realizado pelo IPEA e DENATRAN (2006) referente aos custos dos acidentes de trânsito em rodovias. O estudo foi realizado com os dados no período de julho/2004 a junho/2005, mostrando que foram registradas 110.599 ocorrências, com 468.371 pessoas envolvidas. Deste total 84,4% foram classificadas como ilesas; 14,2%, classificadas como feridas; e 1,4%, classificadas como mortas. Quanto aos feridos, 61% foram considerados com ferimentos leves e 39% com ferimentos graves.

Um total de 187.825 veículos estiveram envolvidos nesses acidentes: 47,3% eram automóveis; 7,3% eram motos; 1,8%, bicicletas; 7,0%, utilitários; 25,5%, caminhões; 4,3%, ônibus; e 6,8%, outros veículos (tratores, máquinas agrícolas, carroças, triciclos, etc.). O custo total estimado dos acidentes nas rodovias federais no período de jul/2004 a jun/2005 ficou em R\$ 6.512.085.050,00 (cerca de 6,5 bilhões de reais), a preços de dezembro de 2005, com 3,7% de erro, para mais, ou para menos.

Neste mesmo estudo do IPEA e DENATRAN (2006) a BR-277 aparece como uma das treze rodovias federais com maior número de mortos (TABELA 1), ocupando a 10ª posição com 125 mortes e 2.847 acidentes no período de jul/2004 a jun/2005. Na seção 2.1.5 será feita uma descrição detalhada da BR-277, assim como dos acidentes de trânsito que ocorreram em sua extensão.

### 2.1.5 A BR-277

A BR-277 é uma rodovia federal transversal da malha rodoviária brasileira que tem início em Paranaguá - PR e término em Foz do Iguaçu - PR. Fica inteiramente no estado do Paraná (FIGURA 5) e possui aproximadamente 730 quilômetros de extensão. Tem grande importância no escoamento de produtos agropecuários produzidos principalmente na região sudoeste e oeste do Paraná. É de grande importância estratégica, uma vez que liga o Brasil ao Paraguai (PY) e fica muito próxima à divisa entre Brasil e Argentina (AR), constituindo assim uma importante rota de ligação entre países do Mercosul<sup>3</sup>.



FIGURA 5: BR-277

FONTE: O autor (2010)

Uma descrição mais detalhada da BR-277 será feita na seção 2.1.5.1.

<sup>3</sup>Mercado Comum do Sul, foi criado em 1991 e é formado por quatro países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai (SITE-MERCOSUL, 2010).

### 2.1.5.1 História da BR-277

A BR-277 corta o Paraná no sentido leste-oeste, ao longo do paralelo 25°30', ligando o Porto de Paranaguá às cidades de Curitiba, Ponta Grossa, Guarapuava, Laranjeiras do Sul, Cascavel e Foz do Iguaçu, interligando-se a uma rodovia transparaguiaia.

Em abril de 1941 foi criada a Comissão de Estradas de Rodagem nº. 1, ou simplesmente CER-1. Entre outras tarefas, cabia-lhe promover melhoramentos na rodovia Ponta Grossa-Guarapuava e realizar estudos do trecho Guarapuava-Foz do Iguaçu.

A deficiência de recursos financeiros, a irregularidade na distribuição de verbas e a incerteza de sua liberação, prejudicaram as atividades da CER-1, desde as suas origens. Assim, somente em 1958 concluiu sua missão principal, a ligação Ponta Grossa-Foz do Iguaçu. Diante do surto de desenvolvimento proporcionado à região servida pela rodovia, o Governo Federal observou a necessidade de sua pavimentação asfáltica. Ainda nesse mesmo ano, foram iniciados os trabalhos de pavimentação que, entretanto, só tiveram grande incremento a partir de 1963. Em março de 1969, a BR-277 foi inaugurada.

Em 1996 teve o início a concessão das rodovias à administração privada, entre elas a BR-277. Atualmente a BR-277 é administrada por 4 concessionárias:

- Ecovia;
- Rodonorte;
- Caminhos do Paraná;
- Ecocataratas.

Os trechos que cada concessionária administra a BR-277 são:

- Ecovia: entre Paranaguá e Curitiba;

- Rodonorte: um pequeno trecho entre Curitiba e São Luiz do Purunã;
- Caminhos do Paraná: entre São Luiz do Purunã e Guarapuava;
- Ecocataratas: entre Guarapuava e Foz do Iguaçu.

O mapa da figura 6 mostra os referidos trechos:



FIGURA 6: Concessionárias que administram a BR-277

FONTE: O autor (2010)

De acordo com a CNT (Confederação Nacional dos Transportes) em uma pesquisa publicada em 2010, a BR-277, em uma classificação entre ótimo, bom, regular, ruim e péssimo, quanto ao pavimento ficou com ótimo, e para a sinalização ficou com bom. Na classificação geral, a BR-277 em toda a sua extensão ficou com bom (CNT, 2010).

Quanto a duplicação, aproximadamente 24% da BR-277 está duplicada e os trechos duplicados são os seguintes: Paranaguá - Curitiba, Curitiba - São Luiz do Purunã, Medianeira - Foz do Iguaçu e um pequeno trecho próximo a Cascavel. O restante da rodovia, se encontra em pista simples pavimentada. Essas informações foram retiradas da SETR (Secretaria de Estado dos Transportes - PR) e podem ser encontradas em SETR (2010).

Oficialmente a quilometragem detalhada por trecho da BR-277, dada pelo Ministério dos Transportes pode ser observada no anexo A, entretanto, a PRF utiliza uma quilometragem diferente. A quilometragem utilizada neste trabalho é a mesma da PRF e a identificação dos locais a partir dos quilômetros foi realizada por meio das informações contidas no banco de dados.

#### 2.1.5.2 Perfil dos acidentes na BR-277

Utilizando os dados fornecidos pela Polícia Rodoviária Federal do Paraná, referente aos dados dos 3.894 acidentes ocorridos na BR-277 em 2009, tais como: tipos de acidentes, condições do tempo, fatores contribuintes, sexo dos condutores, etc., pode-se ter uma ideia de como está a situação da BR-277 com relação aos acidentes de trânsito.

Primeiramente, analisando os tipos de acidentes (FIGURA 7), pode-se verificar que colisão traseira, lateral, transversal e saída de pista constituem aproximadamente 70% dos acidentes de trânsito ocorridos na BR-277 em 2009.

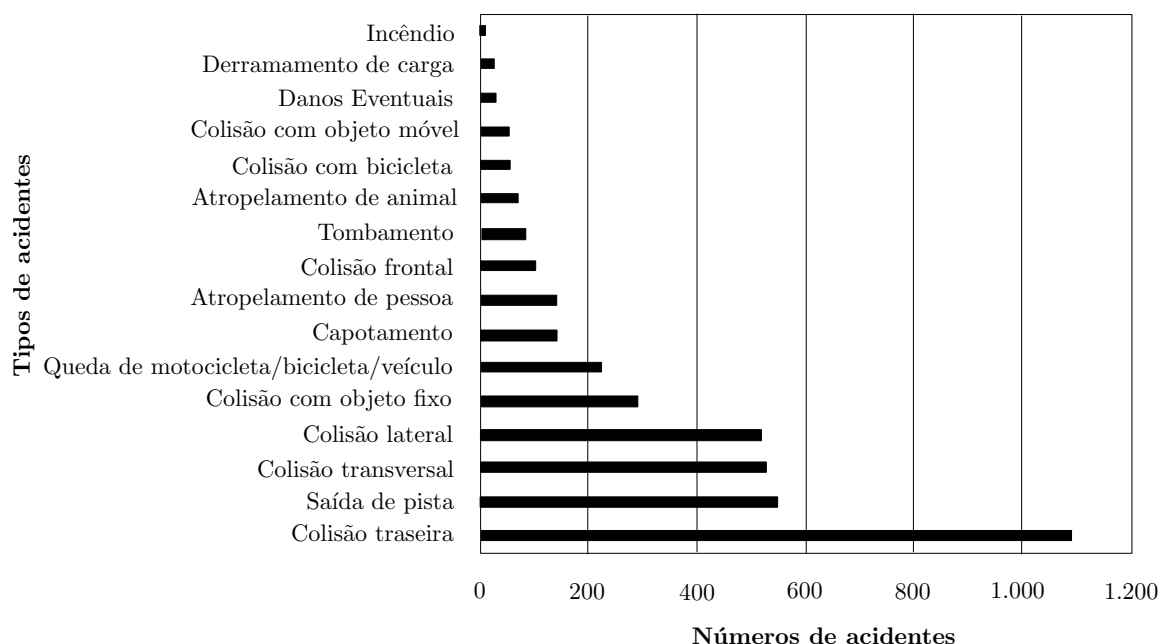


FIGURA 7: Distribuição dos tipos de acidentes na BR-277 ocorridos em 2009

FONTE: O autor (2010) com base nos dados da PRF do Paraná

O que mais chama a atenção é que esses acidentes em sua grande maioria ocorrem com o tempo bom, ou seja, 52% dos acidentes na rodovia ocorreram com céu claro ou sol. Apenas 20% ocorreram em dia de chuva (FIGURA 8). Quanto ao tipo de pista, 52% dos acidentes ocorrem em pista dupla, 45% em pista simples e 3% em pista múltipla. Considerando-se o traçado da pista, 71% ocorrem em pista reta, 20% em pista curva e 9% em cruzamentos. De acordo com a fase do dia, pode-se observar que 54% dos acidentes ocorrem durante o dia, 34% durante a noite e 12% ao amanhecer ou anoitecer. Essas informações mostram que a maioria dos acidentes ocorrem em condições ideais de pista (pista duplicada e reta) e do tempo (sem chuva).

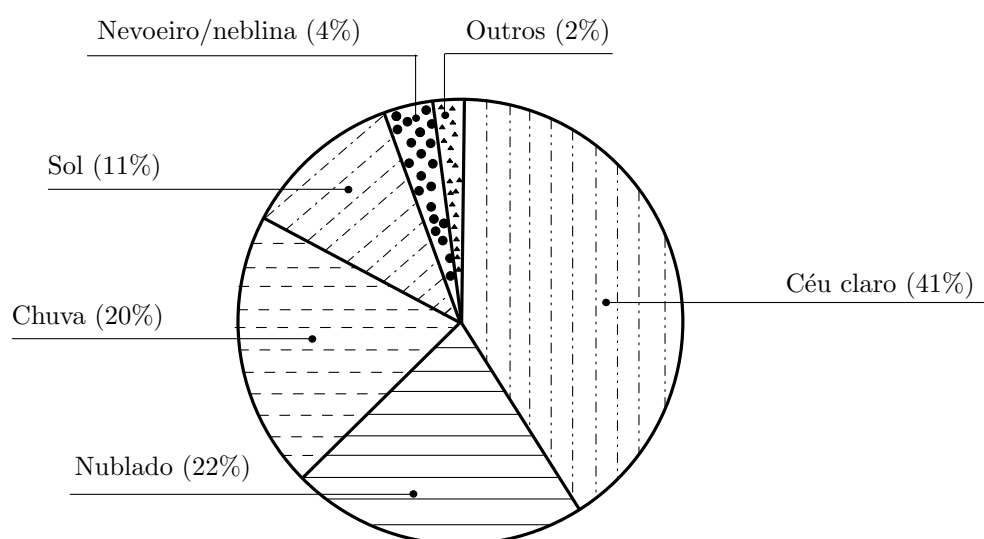


FIGURA 8: Distribuição dos acidentes na BR-277 de acordo com a condição meteorológica  
 FONTE: O autor (2010) com base nos dados da PRF do Paraná

Considerando-se os dados referentes aos 6.746 condutores envolvidos nesses acidentes de 2009 na BR-277, observa-se que a maior parte desses condutores é do sexo masculino (85%), enquanto que apenas 10% é do sexo feminino e os outros 5% foram ignorados. Isso ocorre pois, a maior parte dos condutores que dirigem em rodovias são homens. Quanto ao tempo de habilitação desses condutores verifica-se que a maior parte dos acidentes ocorrem com motoristas com tempo de habilitação entre 1 e 14 anos e cerca de 3% dos condutores encontram-se inabilitados (FIGURA 9).

Analizando o número de horas que o motorista dirigiu até acontecer o acidente, observa-se que aproximadamente 60% dos acidentes ocorreram com motoristas que estavam dirigindo a mais de 5 horas e 27% aconteceram com motoristas dirigindo menos de uma hora (FIGURA 10).

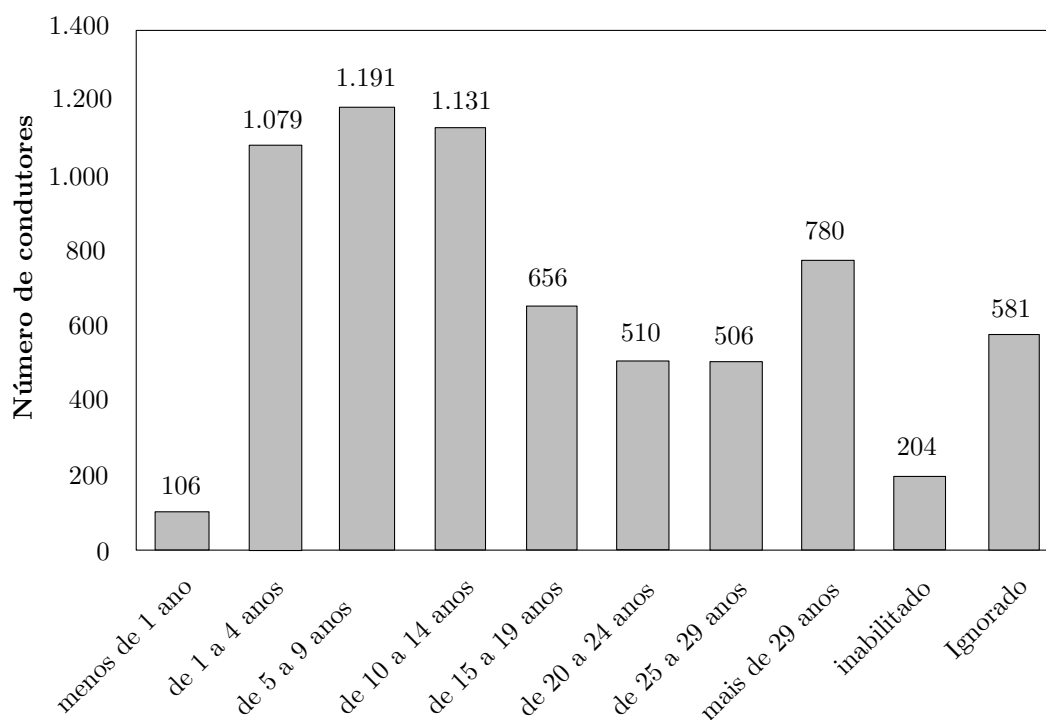


FIGURA 9: Tempo de habilitação dos condutores envolvidos nos acidentes

FONTE: O autor (2010) com base nos dados da PRF do Paraná



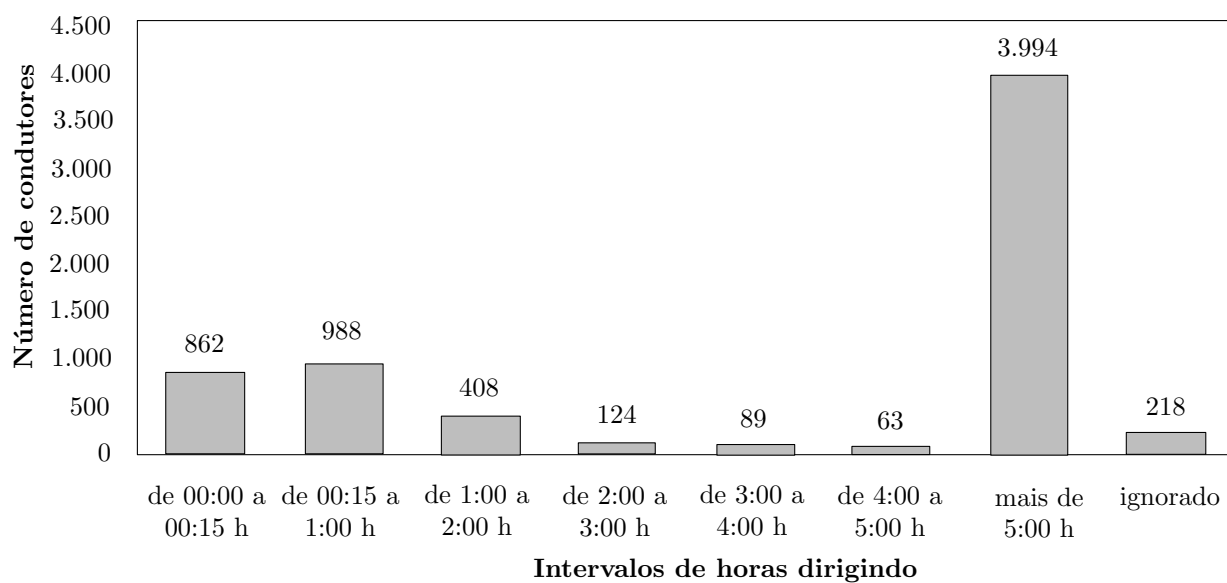


FIGURA 10: Tempo dirigindo até acontecer o acidente

FONTE: O autor (2010) com base nos dados da PRF do Paraná

Quanto aos veículos envolvidos nos acidentes, observa-se que 56% dos acidentes ocorrem com automóveis e aproximadamente 10% envolvem caminhões.

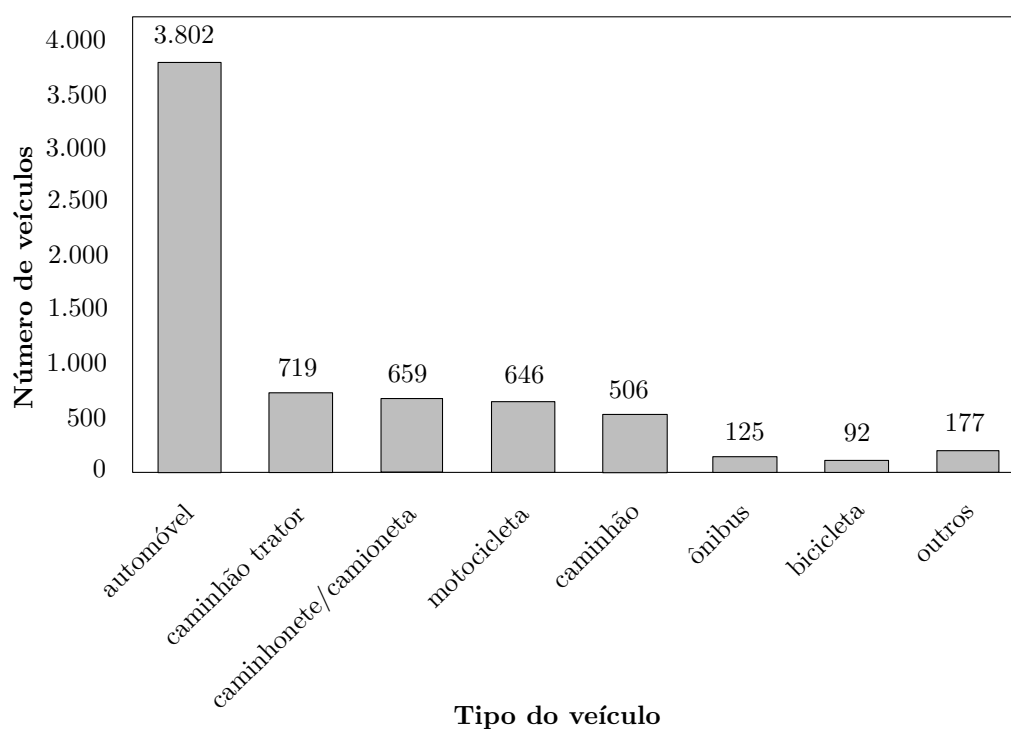


FIGURA 11: Tipos de veículos envolvidos nos acidentes

FONTE: O autor (2010) com base nos dados da PRF do Paraná

Em 2009, 161 pessoas vieram a óbito e 2.383 ficaram feridas devido aos acidentes de trânsito na BR-277. O número de óbitos pode ser maior, pois esses dados são referentes as vítimas no local do acidente, não levando em consideração os feridos que foram hospitalizados e não resistiram aos ferimentos.

Na seção 2.2 será descrito o conteúdo de Análise de Componentes Principais, que será utilizado na Análise Fatorial.

## 2.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Análise de Componentes Principais é uma técnica introduzida por Karl Pearson em 1901 e está fundamentada no artigo de Hotelling (1933). Seu objetivo principal é o de explicar a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, composto por  $p$  variáveis aleatórias, por meio de combinações lineares das variáveis originais. Estas combinações lineares são chamadas de componentes principais e são não correlacionadas entre si. Quando têm-se  $p$  variáveis originais pode-se obter  $p$  componentes principais. Entretanto, com o objetivo de reduzir o número de variáveis, escolhe-se  $m$  ( $m < p$ ) componentes principais, que expliquem boa parte da variância contida nas variáveis originais. Sendo assim, o sistema de variabilidade das  $p$  variáveis originais pode ser aproximado pelo sistema de variabilidade do vetor aleatório que contém as  $m$  componentes principais. A qualidade da aproximação depende do número de componentes que compõe o sistema e pode ser medida por meio da avaliação da proporção da variância total explicada por essas.

A obtenção das componentes principais envolve a decomposição espectral da matriz de covariância ou de correlação, sendo que a suposição de normalidade do vetor aleatório não é requisito necessário a aplicação desta técnica.

Uma vez determinadas as componentes principais, os escores podem ser calculados para cada elemento amostral. Deste modo, os valores de cada componente podem ser analisados, usando-se técnicas estatísticas usuais como análise de variância e análise de regressão, dentre outras.

Atualmente pode-se encontrar diversos trabalhos utilizando a Análise de Componentes Principais, dentre eles destaca-se: Amigo *et al.* (2010) no estudo de dados cromatográficos no amadurecimento de frutas, Liu, Wu e Huang (2010) na classificação de diferentes níveis de infecção fúngica em arroz, Armstrong *et al.* (2010) em estudos neurológicos, Roy *et al.* (2009) no estudo de inflamações respiratórias em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica.

### 2.2.1 Componentes Principais via Matriz de Covariâncias

Seja  $\underline{X}' = [X_1 \ X_2 \ \dots \ X_p]$  um vetor aleatório com matriz de covariância  $\Sigma_{p \times p}$  e considere as combinações lineares

$$\begin{aligned} Y_1 &= \underline{a}'_1 \cdot \underline{X} = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \\ Y_2 &= \underline{a}'_2 \cdot \underline{X} = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2p}X_p \\ &\vdots \\ Y_p &= \underline{a}'_p \cdot \underline{X} = a_{p1}X_1 + a_{p2}X_2 + \dots + a_{pp}X_p, \end{aligned} \quad (1)$$

então, usando resultados demonstrados em Johnson e Wichern (2007), obtém-se

$$V(Y_i) = \underline{a}'_i \cdot \Sigma \cdot \underline{a}_i, \quad i = 1, 2, \dots, p \text{ e} \quad (2)$$

$$\text{Cov}(Y_i, Y_k) = \underline{a}'_i \cdot \Sigma \cdot \underline{a}_k, \quad i, k = 1, 2, \dots, p. \quad (3)$$

A primeira componente principal é a combinação linear com máxima variância, ou seja, ela maximiza a  $V(\underline{a}'_1 \cdot \underline{X})$  sujeito à restrição  $\underline{a}'_1 \cdot \underline{a}_1 = 1$ . A segunda componente principal  $\underline{a}'_2 \cdot \underline{X}$  maximiza a  $V(\underline{a}'_2 \cdot \underline{X})$  sujeito às restrições  $\underline{a}'_2 \cdot \underline{a}_2 = 1$  e  $\text{Cov}(\underline{a}'_1 \cdot \underline{X}, \underline{a}'_2 \cdot \underline{X}) = 0$ . Da mesma maneira, a  $i$ -ésima componente principal  $\underline{a}'_i \cdot \underline{X}$  maximiza a  $V(\underline{a}'_i \cdot \underline{X})$  sujeito às restrições  $\underline{a}'_i \cdot \underline{a}_i = 1$  e  $\text{Cov}(\underline{a}'_i \cdot \underline{X}, \underline{a}'_k \cdot \underline{X}) = 0$ , para todo  $k < i$ .

Em analogia aos resultados anteriores, considere agora os pares de autovalores-autovetores  $(\lambda_1, \underline{e}_1), (\lambda_2, \underline{e}_2), \dots, (\lambda_p, \underline{e}_p)$  associados à matriz de covariância  $\Sigma$  onde  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ . Então a  $i$ -ésima componente principal é dada por:

$$Y_i = \underline{e}'_i \cdot \underline{X} = e_{i1}X_1 + e_{i2}X_2 + \dots + e_{ip}X_p, \quad i = 1, 2, \dots, p. \quad (4)$$

Com esta escolha, tem-se

$$V(Y_i) = \underline{e}_i' \cdot \Sigma \cdot \underline{e}_i = \lambda_i \quad i = 1, 2, \dots, p \text{ e} \quad (5)$$

$$\text{Cov}(Y_i, Y_k) = \underline{e}_i' \cdot \Sigma \cdot \underline{e}_k = 0 \quad i, k = 1, 2, \dots, p \text{ e } i \neq k. \quad (6)$$

Da mesma forma, a primeira componente principal é a combinação linear com máxima variância, ou seja,  $\underline{e}_1' \cdot \underline{X}$  maximiza a  $V(Y_1) = \lambda_1$  sujeito à restrição  $\underline{e}_1' \cdot \underline{e}_1 = 1$ . A segunda componente principal  $\underline{e}_2' \cdot \underline{X}$  maximiza a  $V(Y_2) = \lambda_2$  sujeito às restrições  $\underline{e}_2' \cdot \underline{e}_2 = 1$  e  $\text{Cov}(\underline{e}_1' \cdot \underline{X}, \underline{e}_2' \cdot \underline{X}) = 0$ . Assim, a  $i$ -ésima componente principal  $\underline{e}_i' \cdot \underline{X}$  maximiza a  $V(Y_i) = \lambda_i$  sujeito às restrições  $\underline{e}_i' \cdot \underline{e}_i = 1$  e  $\text{Cov}(\underline{e}_i' \cdot \underline{X}, \underline{e}_k' \cdot \underline{X}) = 0$ , para todo  $k < i$ .

Outro resultado importante demonstrado em Johnson e Wichern (2007) é que

$$\sum_{i=1}^p V(X_i) = \sum_{i=1}^p V(Y_i), \quad (7)$$

ou ainda,  $\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_p^2 = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p$ , onde  $\sigma_i^2$  é a variância da variável aleatória  $X_i$ , com  $i = 1, 2, \dots, p$ . Desta maneira a proporção da variância explicada pela  $k$ -ésima componente principal é dada por:

$$\frac{\lambda_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p}, \quad k = 1, 2, \dots, p. \quad (8)$$

Para interpretação das componentes principais é necessário conhecer o coeficiente de correlação entre as variáveis originais e as componentes principais obtidas da matriz de covariância  $\Sigma$ . Também de Johnson e Wichern (2007), tem-se

$$\rho_{Y_i, X_k} = \frac{e_{ik} \cdot \sqrt{\lambda_i}}{\sigma_k}, \quad i, k = 1, 2, \dots, p. \quad (9)$$

Quando se aplica a Análise de Componentes Principais, geralmente deseja-se substituir as  $p$  variáveis aleatórias originais por  $m$  ( $m < p$ ) componentes principais que expliquem boa parte da variância total do conjunto de dados original. Outro detalhe importante é que para obtenção das componentes principais utiliza-se a matriz de covariância amostral  $S_{p \times p}$ , ou ainda a matriz de correlação amostral  $R_{p \times p}$ . No caso onde o vetor aleatório é padronizado inicialmente, tem-se que  $S = R$ .

Para estimar o parâmetro  $\Sigma$  é necessário também estimar o vetor de médias  $\underline{\mu}$  que é dado por:

$$\underline{\bar{x}}' = [\bar{x}_1 \quad \bar{x}_2 \quad \cdots \quad \bar{x}_p], \text{ com } \bar{x}_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, p, \quad (10)$$

sendo  $n$  o número de observações da amostra. Desta maneira,  $S_{p \times p}$  pode ser representada da forma:

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{p1} & s_{p2} & \cdots & s_{pp} \end{bmatrix}, \text{ com } s_{jk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k), \quad j, k = 1, 2, \dots, p, \quad (11)$$

enquanto que a matriz de correlação  $\rho_{p \times p}$  pode ser estimada por

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, \text{ com } r_{ik} = \frac{s_{ik}}{s_i \cdot s_k}, \quad i, k = 1, 2, \dots, p. \quad (12)$$

### 2.2.2 Componentes Principais via Matriz de Correlação Amostral

Sejam  $\underline{Z}' = [Z_1 \quad Z_2 \quad \cdots \quad Z_p]$  as variáveis aleatórias originais padronizadas, onde

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{x}_i}{s_{ii}}, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad (13)$$

com matriz de correlação ou covariância  $R$ , então a  $i$ -ésima componente principal é:

$$\hat{Y}_i = \hat{e}_{i1} \cdot Z_1 + \hat{e}_{i2} \cdot Z_2 + \cdots + \hat{e}_{ip} \cdot Z_p, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad (14)$$

onde  $(\hat{\lambda}_i, \hat{e}_i)$  é o  $i$ -ésimo par de autovalor-autovetor de  $R$  com  $\hat{\lambda}_1 \geq \hat{\lambda}_2 \geq \cdots \geq \hat{\lambda}_p \geq 0$ .

Além disso

$$V(\hat{Y}_i) = \hat{\lambda}_i, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (15)$$

$$\text{Cov}(\hat{Y}_i, \hat{Y}_k) = 0, \quad i, k = 1, 2, \dots, p \text{ e } i \neq k. \quad (16)$$

Tem-se também que variância amostral total (padronizada) é dada pelo  $\text{tr}(R) = p = \hat{\lambda}_1 + \hat{\lambda}_2 + \dots + \hat{\lambda}_p$  e a correlação entre as variáveis originais e as componentes principais é

$$r_{\hat{Y}_i, Z_k} = \hat{e}_{ik} \cdot \sqrt{\hat{\lambda}_i}, \quad i, k = 1, 2, \dots, p, \quad (17)$$

e a proporção da variância amostral explicada pela  $i$ -ésima componente principal é dado por:

$$\frac{\hat{\lambda}_i}{p}, \quad i = 1, 2, \dots, p. \quad (18)$$

O cálculo do escore da  $i$ -ésima componente principal para a  $j$ -ésima observação padronizada pode ser calculado por:

$$\hat{Y}_{ij} = \hat{e}_{i1} \cdot Z_{j1} + \hat{e}_{i2} \cdot Z_{j2} + \dots + \hat{e}_{ip} \cdot Z_{jp}, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (19)$$

Na seção 2.3 será abordada a Análise Fatorial utilizando o método das componentes principais.

## 2.3 ANÁLISE FATORIAL

A Análise Fatorial foi introduzida por Spearman (1904)<sup>4</sup>. Inicialmente usada nas áreas de psicologia e ciências sociais, na tentativa de identificar os fatores relacionados com a inteligência humana e ligá-los, de algum modo, à etnia. Devido a subjetividade e falta de unicidade de suas soluções, tem sido alvo de críticas ao longo dos anos (HILLS; KACHIGAN, 1977, 1991 *apud* MINGOTI, 2005). Porém, é uma das técnicas multivariadas mais conhecidas e tem sido muito utilizada na química (OZERENKO; GYUL'MALIEV; GAGARIN, 2007), na educação (MARQUES, 2010a), na geologia (QUEIROZ *et al.*, 2008), na economia (ESQUARCINI, 2005), na agricultura (CHIGUTI, 2005), na engenharia de produção (MÜLLER; CHAVES NETO, 2007), entre outras.

---

<sup>4</sup>Charles Edward Spearman (10 de setembro de 1863 - 7 de setembro de 1945) foi um psicólogo inglês conhecido pelo seu trabalho na área da estatística, como um pioneiro da Análise Fatorial e pelo coeficiente de correlação de postos de Spearman. Ele também fez bons trabalhos de modelos da inteligência humana, incluindo a descoberta de que escores em testes cognitivos incompatíveis exibiam um fator geral único, batizado de fator "g".

Segundo Hair *et al.* (2009), a Análise Fatorial é um método estatístico multivariado cujo propósito principal é definir a estrutura subjacente em uma matriz de dados. Em termos gerais, a Análise Fatorial aborda o problema de analisar a estrutura das inter-relações (correlações) entre um grande número de variáveis, definindo um conjunto de dimensões latentes comuns, chamadas de fatores. O objetivo principal da Análise Fatorial é resumir os dados, obtendo dimensões latentes, que quando interpretadas e compreendidas, descrevem os dados em um número muito menor de conceitos do que as variáveis originais individuais.

Em linhas gerais Mingoti (2005) afirma que, o que se espera é que as variáveis originais estejam agrupadas em subconjuntos de novas variáveis mutuamente não correlacionadas. Deste modo, em casos no qual se tem um grande número de variáveis medidas e correlacionadas entre si, seria possível, a partir da Análise Fatorial, identificar um número menor de novas variáveis alternativas, não correlacionadas e que de algum modo sumarizassem as informações principais das variáveis originais.

A Análise Fatorial pode ser trabalhada de forma exploratória ou confirmatória. No primeiro caso, busca-se encontrar os fatores subjacentes às variáveis originais amostradas, sem ter noção de quantos fatores serão obtidos e de que maneira as variáveis estarão agrupadas. Na Análise Fatorial confirmatória, tem-se um modelo inicial pré-estabelecido, onde se deseja verificar se este modelo proposto é consistente com os dados amostrais disponíveis. Neste trabalho será utilizada apenas a Análise Fatorial exploratória.

Existem duas maneiras mais comuns para determinação dos fatores: o método das componentes principais e o método da máxima verossimilhança. O primeiro realiza a decomposição espectral da matriz de covariância ou correlação para obtenção dos fatores (seção 2.2) e o segundo leva em conta a hipótese de normalidade para estimação dos fatores, o que não ocorre com os dados utilizados neste trabalho, como pode ser visto no capítulo 4.

A partir deste ponto será apresentado o desenvolvimento matemático e estatístico

da Análise Fatorial pelo método das componentes principais.

### 2.3.1 Modelo Fatorial Ortogonal

De acordo com Johnson e Wichern (2007), o vetor aleatório  $\underline{X}$ , com  $p$  variáveis aleatórias observáveis, tem vetor de médias  $\underline{\mu}$  e matriz de covariância  $\Sigma$ . O modelo fatorial é linearmente dependente sobre as poucas variáveis aleatórias não observáveis  $F_1, F_2, \dots, F_m$  com  $(m \leq p)$  chamados fatores comuns e  $p$  fontes de variações ativas  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$ , chamadas de erros ou fatores específicos. O modelo fatorial é

$$\begin{aligned} X_1 - \mu_1 &= \ell_{11}F_1 + \ell_{12}F_2 + \dots + \ell_{1m}F_m + \varepsilon_1 \\ X_2 - \mu_2 &= \ell_{21}F_1 + \ell_{22}F_2 + \dots + \ell_{2m}F_m + \varepsilon_2 \\ &\vdots \\ X_p - \mu_p &= \ell_{p1}F_1 + \ell_{p2}F_2 + \dots + \ell_{pm}F_m + \varepsilon_p \end{aligned} \quad (20)$$

ou em notação matricial

$$\underbrace{\underline{X} - \underline{\mu}}_{(p \times 1)} = \underbrace{\underline{L}}_{(p \times m)} \cdot \underbrace{\underline{F}}_{(m \times 1)} + \underbrace{\underline{\varepsilon}}_{(p \times 1)} \quad (21)$$

onde  $\ell_{ij}$  é denominado como o peso ou carregamento da  $i$ -ésima variável no  $j$ -ésimo fator, então a matriz  $L$  é chamada de matriz de cargas fatoriais. O  $i$ -ésimo fator específico  $\varepsilon_i$  é associado somente com a variável resposta  $X_i$ . Os  $p$  desvios  $X_1 - \mu_1, X_2 - \mu_2, \dots, X_p - \mu_p$  são representados pelas  $p + m$  variáveis aleatórias  $F_1, F_2, \dots, F_m, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$ , as quais são não observáveis.

Com tantas quantidades não observáveis e para tornar útil o modelo fatorial, algumas pressuposições sobre os vetores  $\underline{F}$  e  $\underline{\varepsilon}$  devem ser feitas, tais como

$$\begin{aligned} E(\underline{F}) &= \underbrace{0}_{m \times 1}, \quad \text{Cov}(\underline{F}) = E(\underline{F}\underline{F}') = \underbrace{I}_{(m \times m)} \quad \text{e} \\ E(\underline{\varepsilon}) &= \underbrace{0}_{(p \times 1)}, \quad \text{Cov}(\underline{\varepsilon}) = E(\underline{\varepsilon}\underline{\varepsilon}') = \underbrace{\Psi}_{(p \times p)} = \begin{bmatrix} \psi_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \psi_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \psi_p \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (22)$$



e ainda  $\underline{F}$  e  $\underline{\varepsilon}$  são independentes, então

$$\text{Cov}(\underline{\varepsilon}, \underline{F}) = E(\underline{\varepsilon}\underline{F}') = \underbrace{0}_{(p \times m)}. \quad (23)$$

Essas suposições e a relação em (21) constituem o modelo fatorial ortogonal. A estrutura de covariância para o modelo fatorial ortogonal, pode ser obtida da seguinte forma:

$$\Sigma = V(\underline{X}) = E[(\underline{X} - \underline{\mu})(\underline{X} - \underline{\mu})'], \quad (24)$$

porém de (21), obtém-se

$$\begin{aligned} \Sigma &= E[(\underline{LF} + \underline{\varepsilon})(\underline{LF} + \underline{\varepsilon})'] \\ &= E[\underline{LF} \underline{F}' \underline{L}' + \underline{\varepsilon} \underline{F}' \underline{L}' + \underline{LF} \underline{\varepsilon}' + \underline{\varepsilon} \underline{\varepsilon}'] \\ &= LE(\underline{FF}') \underline{L}' + E(\underline{\varepsilon} \underline{F}') \underline{L}' + LE(\underline{F} \underline{\varepsilon}') + E(\underline{\varepsilon} \underline{\varepsilon}'), \end{aligned}$$

logo

$$\Sigma = \underline{LL}' + \Psi. \quad (25)$$

Dessa forma, a covariância entre as variáveis e os fatores é calculado por:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(\underline{X}, \underline{F}) &= E[(\underline{X} - \underline{\mu})(\underline{F} - E(\underline{F}))'] \\ &= E[(\underline{LF} + \underline{\varepsilon})\underline{F}'] \\ &= E[\underline{LFF}' + \underline{\varepsilon} \underline{F}'] \\ &= E[\underline{LFF}' + \underline{\varepsilon} \underline{F}'] \\ &= LE(\underline{FF}') + E(\underline{\varepsilon} \underline{F}'), \end{aligned}$$

ou seja,

$$\text{Cov}(\underline{X}, \underline{F}) = \underline{L}. \quad (26)$$

Sendo assim, de (25) obtém-se

$$\begin{aligned} V(X_i) &= \ell_{i1}^2 + \dots + \ell_{im}^2 + \psi_i, \\ \text{Cov}(X_i, X_k) &= \ell_{i1}\ell_{k1} + \dots + \ell_{im}\ell_{km} \end{aligned} \quad (27)$$

e de (26) resulta que a covariância entre a  $i$ -ésima variável e o  $j$ -ésimo fator é:

$$\text{Cov}(X_i, F_j) = \ell_{ij}. \quad (28)$$

A parte da variância que a  $i$ -ésima variável contribui para os  $m$  fatores comuns é chamada de comunalidade, que é dada por

$$h_i^2 = \ell_{i1}^2 + \dots + \ell_{im}^2, \quad (29)$$

e  $\psi_i$  são as variâncias específicas.

Em Johnson e Wichern (2007) podem ser encontrados mais detalhes sobre o modelo fatorial ortogonal.

### 2.3.2 Método das componentes principais via matriz de covariância

Usando a decomposição espectral pode-se fatorar a matriz de covariância  $\Sigma$ . Sejam  $(\lambda_i, \underline{e}_i)$  pares de autovalores-autovetores da matriz  $\Sigma$ , com  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ . Então

$$\begin{aligned} \Sigma &= \lambda_1 \underline{e}_1 \underline{e}_1' + \lambda_2 \underline{e}_2 \underline{e}_2' + \dots + \lambda_p \underline{e}_p \underline{e}_p' \\ &= \left[ \begin{array}{c|c|c|c} \sqrt{\lambda_1} \cdot \underline{e}_1 & \sqrt{\lambda_2} \cdot \underline{e}_2 & \dots & \sqrt{\lambda_p} \cdot \underline{e}_p \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c} \sqrt{\lambda_1} \cdot \underline{e}_1 \\ \hline \sqrt{\lambda_2} \cdot \underline{e}_2 \\ \hline \vdots \\ \hline \sqrt{\lambda_p} \cdot \underline{e}_p \end{array} \right], \end{aligned} \quad (30)$$

o qual ajusta a estrutura de covariância prescrita para a análise do modelo fatorial, tendo  $m$  fatores ( $m = p$ ) e variância específica  $\psi_i = 0$  para todo  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$ . A matriz de cargas tem a  $j$ -ésima coluna dada por  $\sqrt{\lambda_j} \cdot \underline{e}_j$ . Desta maneira, pode-se escrever

$$\underbrace{\Sigma}_{(p \times p)} = \underbrace{L}_{(p \times p)} \underbrace{L'}_{(p \times p)} + \underbrace{0}_{(p \times p)} = L L', \quad (31)$$

entretanto neste caso a representação de  $\Sigma$  é exata, isto é, o número de fatores comuns é igual ao número de variáveis. Na prática deve-se optar por modelos que expliquem a estrutura de covariância usando poucos fatores comuns. Para isso, elimina-se

os últimos  $p - m$  autovalores, que pouco contribuem para  $\Sigma$ . Negligenciando esta contribuição, obtém-se a aproximação

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sqrt{\lambda_1} \cdot \underline{e}_1 & & & \\ & \sqrt{\lambda_2} \cdot \underline{e}_2 & & \\ & & \cdots & \\ & & & \sqrt{\lambda_m} \cdot \underline{e}_m \end{bmatrix} = \underbrace{L}_{p \times m} \underbrace{L'}_{m \times p}. \quad (32)$$

A representação acima considera que os fatores específicos  $\underline{e}$  definidos no modelo fatorial ortogonal são de menor importância e podem ser ignorados na fatoração de  $\Sigma$ . Se os fatores específicos forem incluídos no modelo, a contribuição deles pode ser estimada tomando-se os elementos da diagonal de  $\Sigma - LL'$ , onde  $LL'$  é dado em (32).

Considerando-se os fatores específicos, encontramos a aproximação

$$\begin{aligned} \Sigma &= LL' + \Psi \\ &= \begin{bmatrix} \sqrt{\lambda_1} \cdot \underline{e}_1 & & & \\ & \sqrt{\lambda_2} \cdot \underline{e}_2 & & \\ & & \cdots & \\ & & & \sqrt{\lambda_m} \cdot \underline{e}_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \psi_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \psi_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \psi_p \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (33)$$

onde  $\psi_i = \sigma_i^2 - \sum_{j=1}^m \ell_{ij}^2$  para  $i = 1, 2, \dots, p$ .

A representação em (33), quando aplicada a matriz de covariância amostral  $S$  ou a matriz de correlação amostral  $R$  é conhecida como a solução por componentes principais do modelo fatorial.

### 2.3.3 Método das componentes principais via matriz de correlação amostral

Realizando a decomposição espectral da matriz de correlação  $R$ , obtém-se os pares de autovalores-autovetores  $(\hat{\lambda}_1, \hat{e}_1), (\hat{\lambda}_2, \hat{e}_2), \dots, (\hat{\lambda}_p, \hat{e}_p)$ , onde  $\hat{\lambda}_1 \geq \hat{\lambda}_2 \geq \dots \geq \hat{\lambda}_p$ . Seja  $m < p$  o número de fatores comuns. Então a matriz estimada das cargas fatoriais  $\hat{\ell}_{ij}$  é dada por:

$$\hat{L} = \left[ \sqrt{\hat{\lambda}_1} \cdot \hat{e}_1 \mid \sqrt{\hat{\lambda}_2} \cdot \hat{e}_2 \mid \dots \mid \sqrt{\hat{\lambda}_m} \cdot \hat{e}_m \right]. \quad (34)$$

As variâncias específicas estimadas são os elementos da matriz diagonal  $\underline{S} - \hat{L}\hat{L}'$ , então

$$\hat{\Psi} = \begin{bmatrix} \hat{\psi}_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \hat{\psi}_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \hat{\psi}_p \end{bmatrix}, \quad \text{com } \hat{\psi}_i = s_{ii} - \sum_{j=1}^m \hat{\ell}_{ij}^2, \quad (35)$$

e as comunalidades são estimadas por:

$$\hat{h}_i^2 = \hat{\ell}_{i1}^2 + \hat{\ell}_{i2}^2 + \dots + \hat{\ell}_{im}^2 \quad (36)$$

A matriz residual pode ser obtida pela aproximação de  $S$  pela solução por componentes principais, sendo calculada por:

$$S - (\hat{L}\hat{L}' + \hat{\Psi}), \quad (37)$$

onde os elementos da diagonal são zero, e os outros elementos também são pequenos, quando escolhe-se o número de fatores  $m$  apropriado. Analiticamente, tem-se a soma dos quadrados das entradas de

$$S - (\hat{L}\hat{L}' + \hat{\Psi}) \leq \hat{\lambda}_{m+1}^2 + \dots + \hat{\lambda}_p^2. \quad (38)$$

Consequentemente, um pequeno valor para o somatório dos quadrados dos autovalores podem ser negligenciados, implicando um pequeno valor para a soma dos quadrados dos erros da aproximação.

Geralmente a contribuição dos primeiros fatores comuns para a variância amostral das variáveis podem ser grandes. A contribuição para a variância amostral  $s_{ii}$  do primeiro fator comum é  $\hat{\ell}_{i1}^2$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$ . Para o primeiro fator, a soma dos quadrados das cargas fatoriais é:

$$\hat{\ell}_{11}^2 + \hat{\ell}_{21}^2 + \dots + \hat{\ell}_{p1}^2 = \left( \sqrt{\hat{\lambda}_1} \hat{e}_1 \right)' \left( \sqrt{\hat{\lambda}_1} \hat{e}_1 \right) = \hat{\lambda}_1 \quad (39)$$

desde que  $\hat{e}_1$  tenha tamanho unitário. Em geral a proporção da variância total amostral no  $j$ -ésimo fator é dada por:

$$\begin{cases} \frac{\hat{\lambda}_j}{s_{11} + s_{22} + \dots + s_{pp}} & \text{para a análise fatorial de S} \\ \frac{\hat{\lambda}_j}{p} & \text{para a análise fatorial de R} \end{cases} \quad (40)$$

O critério dado em (40) geralmente é usado para determinar o número de fatores comuns apropriado. Quanto maior o número de fatores, maior é a proporção da variância amostral explicada pelo modelo.

Existem algumas maneiras para determinar o número de fatores adequado, pode-se destacar o critério de Kaiser e o Scree-plot<sup>5</sup>.

#### 2.3.4 Determinação do número de fatores

Neste trabalho, o número de fatores foi determinado pelo critério de Kaiser, no qual o número de fatores a ser extraído é dado pelo número de autovalores da matriz de correlação maiores que a unidade (LIRA, 2008).

#### 2.3.5 Rotação ortogonal de fatores

Geralmente a interpretação dos fatores obtidos na Análise Fatorial pode não ser uma tarefa fácil, devido a ocorrência de coeficientes  $\hat{l}_{ij}$  de grandeza numérica similar e não desprezível em fatores distintos. Quando isto ocorre, utiliza-se uma transformação ortogonal dos fatores originais, na tentativa de encontrar uma estrutura mais simples

---

<sup>5</sup>Método gráfico para a estimação do número de fatores.

para ser interpretada. Para isso, utiliza-se uma matriz ortogonal  $T$  que pode ser obtida por diferentes critérios, sendo que após a rotação dos fatores, a estrutura de variância é preservada (RENCHE, 2002). Segue adiante três critérios de rotação: varimax, orthomax e quartimax. Neste trabalho foram testados os três critérios, porém o critério varimax produziu melhores resultados, e é o único utilizado nas interpretações de cada Análise Fatorial aplicada ao conjunto de dados.

#### 2.3.5.1 Critério varimax

De acordo com Mingoti (2005) o critério de rotação varimax é um método proposto por Kaiser (1958), cujo objetivo principal é a busca da matriz  $T$ , tendo como base encontrar para um determinado fator fixo, um grupo de variáveis  $Z_i$  altamente correlacionadas com o fator e um outro grupo que tenha correlação desprezível ou moderada com o fator. Para cada fator fixo, a solução é obtida através da maximização da variação dos quadrados das cargas fatoriais originais das colunas da matriz  $\hat{L}$ . Seja

$$V = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^p \tilde{l}_{ij}^4 - \frac{1}{p} \left( \sum_{i=1}^p \tilde{l}_{ij}^2 \right)^2 \right], \quad (41)$$

onde  $\tilde{l}_{ij} = \frac{\hat{l}_{ij}}{\hat{h}_i}$ , sendo  $\hat{h}_i$  a raiz quadrada da comunalidade da variável  $Z_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$ . O critério varimax seleciona os coeficientes  $\tilde{l}_{ij}$  que maximizam  $V$ . Os coeficientes finais da matriz transformada são obtidos por:  $\hat{L}^* = \hat{L}T$ . O critério varimax é um dos mais utilizados na prática e, em geral, produz resultados mais simples que outros métodos.

#### 2.3.5.2 Critério quartimax

Esse método busca a simplificação das linhas de uma matriz de cargas fatoriais. Segundo Hair *et al.* (2009) o critério quartimax de rotação deixa muitas variáveis com cargas fatoriais altas em um único fator, não sendo bem sucedido na produção de estruturas mais simples.

Seja  $V_Q$  a quantidade definida por:

$$V_Q = \frac{1}{pm} \left[ \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p \hat{l}_{ij}^{*4} - \frac{1}{pm} \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p \hat{l}_{ij}^{*2} \right)^2 \right], \quad (42)$$

onde  $\hat{l}_{ij}^*$  é o coeficiente da  $i$ -ésima variável no  $j$ -ésimo fator após a rotação. O critério quartimax seleciona os coeficientes  $\hat{l}_{ij}^*$  que maximizam a quantidade  $V_Q$  (MINGOTI, 2005).

### 2.3.5.3 Critério orthomax

É considerado uma média ponderada dos métodos varimax e quartimax (MINGOTI, 2005). Considere

$$V_M = \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^p \hat{l}_{ij}^{*4} - \frac{\gamma}{p} \left( \sum_{i=1}^p \hat{l}_{ij}^{*2} \right)^2 \right], \quad (43)$$

onde  $\hat{l}_{ij}^*$  é o coeficiente da  $i$ -ésima variável no  $j$ -ésimo fator após a rotação,  $0 \leq \gamma \leq 1$ . O critério quartimax seleciona os coeficientes  $\hat{l}_{ij}^*$  que maximizam a quantidade  $V_M$ . Para  $\gamma = 1$ , este critério reproduz o critério varimax sem o escalonamento das cargas fatoriais pelas communalidades e, para  $\gamma = 0$ , ele se reduz ao método quartimax.

### 2.3.6 Determinação dos escores fatoriais

Após a identificação e interpretação dos fatores  $L_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  relacionados com as variáveis  $Z_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$  ( $i$ -ésima variável padronizada pela média e desvio padrão), é necessário calcular os escores para cada elemento amostral, de modo a utilizar esses valores para outras análises de interesse. Para cada elemento amostral  $k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , o seu escore no fator  $L_j$  é calculado por:

$$\hat{F}_{jk} = w_{j1}Z_{1k} + w_{j2}Z_{2k} + \dots + w_{jp}Z_{pk}, \quad (44)$$

onde  $Z_{ik}$ , são valores observados das variáveis padronizadas  $Z_i$  para o  $k$ -ésimo elemento amostral e  $w_{ji}$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$ , são os pesos de ponderação de cada variável  $Z_i$  no fator  $L_j$ . De acordo com Mingoti (2005), existem três métodos para a determinação

dos coeficientes  $w_{ji}$ :

- método dos mínimos quadrados ponderados;
- método de regressão;
- método *ad hoc*.

Neste trabalho foi utilizado somente o método dos mínimos quadrados ponderados, uma vez que os dados não são normalmente distribuídos, impossibilitando o uso do método de regressão. Quanto ao método *ad hoc*, que faz o cálculo dos escores utilizando somente as variáveis altamente correlacionadas com cada fator, também não foi utilizado, pois não é indicado quando deseja-se fazer outras análises estatísticas a partir dos escores (MINGOTI, 2005).

#### 2.3.6.1 Método dos mínimos quadrados ponderados

O modelo fatorial em (20) assemelha-se a um modelo de regressão linear múltipla. Desta maneira pode-se estimar o vetor  $\underline{F}$  através do método dos mínimos quadrados ponderados usando-se as matrizes  $\hat{L}$  e  $\hat{\Psi}$  estimadas pelo método da máxima verossimilhança. Sendo assim,  $\hat{F}_j$  pode ser obtido por:

$$\hat{F}_{jk} = (\hat{L}'\hat{\Psi}^{-1}\hat{L})^{-1}\hat{L}'\hat{\Psi}^{-1}Z_k = WZ_k, \quad (45)$$

onde  $Z_k = (Z_{1k} \ Z_{2k} \ \dots \ Z_{pk})'$  é o vetor de observações do  $k$ -ésimo elemento amostral padronizado e  $W_{m \times p}$  é a matriz de ponderação que gera os coeficientes  $w_{ji}$ .

Neste trabalho, as matrizes  $\hat{L}$  e  $\hat{\Psi}$  foram estimadas pelo método das componentes principais. Neste caso, Johnson e Wichern (2007) sugere que a estimação dos escores seja feita usando o método dos mínimos quadrados ordinários, desde que os resíduos  $\varepsilon$  tenham a mesma variância, o que nem sempre ocorre (MINGOTI, 2005). Desta forma,  $\hat{F}_j$  é estimado por:

$$\hat{F}_{jk} = (\hat{L}'\hat{L})^{-1}\hat{L}'Z_k = WZ_k. \quad (46)$$



Os escores fatoriais finais ponderados servem para criar um indicador a partir de todos os escores fatoriais obtidos na Análise Fatorial. De acordo com Furtado *et al.* (2003) os escores fatoriais finais ponderados podem ser calculados da seguinte maneira:

$$\hat{E} = \frac{\sum_{i=1}^m \hat{\lambda}_i \cdot \hat{F}_i}{\sum_{i=1}^m \hat{\lambda}_i}, \quad (47)$$

onde  $\hat{F}_i$  são os escores fatoriais do  $i$ -ésimo fator e  $m$  é o número de fatores extraídos.

### 2.3.7 Adequação dos dados à Análise Fatorial

Para aplicar a Análise Fatorial, um das primeiras preocupações é saber se o conjunto de dados é adequado para aplicar o método multivariado. Existem dois testes capazes de determinar se este conjunto de dados é apropriado: teste de esfericidade de Bartlett e a medida de adequação da amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) que serão descritos abaixo.

#### 2.3.7.1 Teste de esfericidade de Bartlett

Testa a hipótese da matriz de correlação populacional  $\rho$  ser igual a matriz identidade  $I$ , ou seja, admitir ausência de correlação entre as variáveis estudadas.

A hipótese nula do teste é dada por  $H_0 : \rho = I$  e a estatística é calculada por

$$\chi_v^2 = - \left[ (n-1) - \frac{2p+5}{6} \right] \ln |R| \quad (48)$$

onde  $\chi_v^2$  é uma variável aleatória com distribuição qui-quadrado com  $v = \frac{p(p-1)}{2}$  graus de liberdade,  $n$  é o tamanho da amostra,  $p$  é o número de variáveis e  $|R|$  é o determinante da matriz de correlação.

Quando rejeita-se a hipótese nula, as variáveis apresentam correlações significativas, indicando a continuidade do procedimento. Isto ocorre quando o valor de  $p$  é menor que 0,05.

### 2.3.7.2 Medida de adequação da amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)

Essa medida é representada por um índice MSA (*measures of sampling adequacy*) que avalia a adequação da utilização da Análise Fatorial à amostra e é calculada por

$$MSA = \frac{\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} q_{ij}^2}, \quad (49)$$

onde  $r_{ij}$  é o elemento da matriz de correlação original para todo  $(i \neq j)$  e  $q_{jk}$  é a correlação parcial entre  $X_i$  e  $X_j$ . A correlação parcial entre duas variáveis é dada quando se considera as  $p - 2$  variáveis restantes como constantes (JOHNSON; WICHERN, 2007). Um KMO na faixa de 0,9 seria excelente para a aplicação da Análise Fatorial, enquanto que um KMO na faixa de 0,5 seria péssimo e exigiria correção nos dados amostrais, tais como exclusão ou inclusão de novas variáveis (MINGOTI, 2005). A matriz  $Q$  pode ser determinada da seguinte maneira:

$$Q = AR^{-1}A, \quad (50)$$

onde  $A = (\text{diag}(R^{-1}))^{-\frac{1}{2}}$  e  $R$  é a matriz de correlação amostral (LIRA, 2008).

## 2.4 VERIFICAÇÃO DA HIPÓTESE DE NORMALIDADE MULTIVARIADA

A verificação da normalidade multivariada pode ser feita por meio do gráfico de probabilidade qui-quadrado. Pela teoria da distribuição normal multivariada, tem-se que, quando o número de elementos amostrais  $n$  é grande, a variável

$$d_j^2 = (\underline{X}_j - \bar{\underline{X}})' S_{p \times p}^{-1} (\underline{X}_j - \bar{\underline{X}}), \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (51)$$

tem aproximadamente uma distribuição qui-quadrado com  $p$  graus de liberdade, onde  $\underline{X}_j$  representa os valores observados das  $p$ -variáveis do  $j$ -ésimo elemento amostral, e  $\bar{\underline{X}}$  é o vetor de médias amostrais e  $S_{p \times p}$  a matriz de covariâncias amostral. Portanto pode-se comparar os valores das distâncias  $d_j^2$  com as respectivas ordenadas dos

percentis<sup>6</sup> da distribuição qui-quadrado, o que dá origem ao gráfico qui-quadrado (Q-Q plot).

O primeiro passo na construção do gráfico é o cálculo das distâncias  $d_j^2$  para todos os elementos da amostra e ordená-los em ordem crescente. Em seguida deve ser plotado o gráfico dos pares  $\left(d_{(j)}^2; \chi_p^2\left(\frac{(j-0,5)}{n}\right)\right)$ , onde  $\chi_p^2\left(\frac{(j-0,5)}{n}\right)$  representa a ordenada do percentil de ordem  $100\left(\frac{(j-0,5)}{n}\right)$  da distribuição qui-quadrado com  $p$  graus de liberdade, isto é,

$$P\left[\chi_p^2 \leq \chi_p^2\left(\frac{(j-0,5)}{n}\right)\right] = \left(\frac{(j-0,5)}{n}\right). \quad (52)$$

Quando a normalidade  $p$ -variada é coerente com os dados amostrais, este gráfico deve resultar em algo próximo a uma reta. Curvas diferentes da reta indicam falta de normalidade segundo Mingoti (2005).

---

<sup>6</sup>O  $k$ -ésimo percentil  $P_k$  é o valor  $x$  que corresponde à frequência cumulativa de  $N_k/100$ , onde  $N$  é o tamanho da amostra.

### **3 MATERIAL E MÉTODO**

Nas seções 3.1 e 3.2 é feita uma descrição detalhada dos materiais e métodos utilizados neste trabalho, tais como os tipos de dados utilizados e também a metodologia utilizada para aplicação da Análise Fatorial.

#### **3.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS**

O banco de dados, fornecido pela PRF do Paraná, é composto por 35 planilhas contendo as informações sobre os acidentes ocorridos na BR-277 no período de janeiro de 2007 a novembro de 2009. Desse banco de dados foram selecionadas as informações:

1. sentido da via;
2. tipo de acidente;
3. causa do acidente;
4. condição pista;
5. restrição visibilidade;
6. sinalização;
7. fase do dia;
8. condição meteorológica;
9. sinalização luminosa;
10. acostamento;

11. desnível acostamento;
12. acostamento pavimentado;
13. conservação acostamento;
14. canteiro;
15. obstáculo ao cruzamento;
16. pista;
17. perfil pista;
18. traçado pista;
19. curva vertical na pista;
20. superelevação da pista;
21. superlargura da pista;
22. estreitamento da pista;
23. conservação da pista.

Esse conjunto de informações foi discretizado, ou seja cada informação foi transformada em duas ou mais categorias, conforme o quadro 2.

A definição de algumas variáveis discretizadas anteriormente, merecem uma descrição mais detalhada. Dentre elas o sentido da via, tipo de acidente, sinalização, obstáculo ao cruzamento, curva vertical na pista, superelevação da pista, superlargura da pista e estreitamento da pista.

- Sentido da via

**Crescente:** sentido Paranaguá - Foz do Iguaçu

**Decrescente:** sentido Foz do Iguaçu - Paranaguá

<b>1 sentido da via</b>	3.9 animais na pista	8.2 sol	15.8 sem antiofuscante
1.1 crescente	3.10 defeito na via	8.3 chuva	15.9 cerca vegetal
1.2 decrescente	<b>4 condição pista</b>	8.4 nublado	<b>16 pista</b>
<b>2 tipo de acidente</b>	4.1 seca	8.5 nevoeiro/neblina	16.1 simples
2.1 colisão transversal	4.2 molhada	8.6 vento	16.2 dupla
2.2 atropelamento de pessoa	4.3 molhada, escorregadia	<b>9 sinalização luminosa</b>	16.3 múltipla
2.3 saída de pista	4.4 escorregadia	9.1 inexistente	<b>17 perfil pista</b>
2.4 queda de motocicleta/bicicleta/veículo	4.5 em obra	9.2 não funciona	17.1 em nível
2.5 colisão com objeto fixo	4.6 com material granulado	9.3 funciona	17.2 rampa $\geq$ 3%
2.6 colisão traseira	4.7 com buraco	<b>10 acostamento</b>	17.3 rampa $<$ 3%
2.7 colisão lateral	<b>5 restrição visibilidade</b>	10.1 sim - 10.2 não	17.4 reta
2.8 colisão com bicicleta	5.1 inexistente	<b>11 desnível acostamento</b>	17.5 curva
2.9 colisão frontal	5.2 poeira/fumaça/neblina	11.1 sim - 11.2 não	17.6 cruzamento
2.10 danos eventuais	5.3 ofuscamento	<b>12 acostamento pavimentado</b>	<b>18 traçado da pista</b>
2.11 capotamento	5.4 veículo estacionado	12.1 sim - 12.2 não	18.1 reta
2.12 tombamento	5.5 configuração do terreno	<b>13 conservação acostamento</b>	18.2 curva
2.13 atropelamento de animal	<b>6 sinalização</b>	13.1 bom	18.3 cruzamento
2.14 colisão com objeto móvel	6.1 vertical, horizontal	13.2 com erosão	<b>19 curva vertical na pista</b>
2.15 derramamento de carga	6.2 vertical, horizontal, manual	13.3 ruim	19.1 não - 19.2 lombada
2.16 incêndio	6.3 vertical	<b>14 canteiro</b>	19.3 depressão
<b>3 causa do acidente</b>	6.4 horizontal	14.1 sim - 14.2 não	<b>20 superelevação da pista</b>
3.1 não guardar distância de segurança	6.5 inexistente	<b>15 obstáculo ao cruzamento</b>	20.1 sim - 20.2 não
3.2 defeito mecânico em veículo	<b>7 fase do dia</b>	15.1 obstáculo ao cruzamento	<b>21 superlargura da pista</b>
3.3 falta de atenção	7.1 plena noite	15.2 muro	21.1 sim - 21.2 não
3.4 velocidade incompatível	7.2 pleno dia	15.3 não existe	<b>22 estreitamento da pista</b>
3.5 ingestão de álcool	7.3 anoitecer	15.4 tela	22.1 não existe - 22.2 provisão
3.6 dormindo	7.4 amanhecer	15.5 com antiofuscante	<b>23 conservação da pista</b>
3.7 desobediência à sinalização	<b>8 condição meteorológica</b>	15.6 meio-fio	23.1 bom - 23.2 ruim
3.8 ultrapassagem indevida	8.1 céu claro	15.7 canal	23.3 com erosão

QUADRO 2 - Variáveis discretizadas

FONTE: O autor (2010)

- Tipo de Acidente

**Colisão transversal:** Quando há impacto entre dois veículos que se cruzam ortogonal ou obliquamente (frente de um e lateral do outro).

**Atropelamento de pessoa:** colisão de veículo motorizado com pessoa a pé, na área da via destinada ao trânsito de veículos.

**Saída de pista:** ocorrência que se caracteriza pelo fato do veículo motorizado projetar-se para fora da área destinada ao tráfego de veículos, sem que tenha colidido, tombado ou capotado dentro da referida área.

**Queda de motocicleta/bicicleta/veículo:** ocorrência em que uma das vítimas (condutor ou passageiro) tenha caído do veículo em movimento, na área da via destinada ao trânsito de veículos.

**Colisão com objeto fixo:** colisão de veículo motorizado com objeto estacionário ou fixo (exceto veículo estacionado), tais como: poste, meio-fio, mureta, barranco etc., presente na área da via destinada ao trânsito de veículos.

**Colisão traseira:** colisão de veículo motorizado com outro veículo motorizado que trafegue à sua frente, quando o impacto se dá com a parte traseira do veículo da frente.

**Colisão lateral:** Quando dois veículos transitam na mesma direção ou em sentido contrário e se tocam lateralmente.

**Colisão com bicicleta:** colisão entre veículo motorizado com bicicleta, na área da via destinada ao trânsito de veículos.

**Colisão frontal:** colisão de veículo motorizado com outro veículo motorizado que trafegue em sentido contrário, quando o impacto se dá com a parte frontal de ambos os veículos.

**Capotagem:** ocorrência que se caracteriza pelo fato do veículo girar sobre si até ficar de rodas para cima, ou mesmo de lado, ou voltar a ficar sobre as próprias rodas.

**Tombamento:** ocorrência que se caracteriza pelo fato do veículo motorizado tombar sem ter girado sobre si, ficando, usualmente, de lado.

**Atropelamento de animal:** colisão de veículo motorizado com animal solto na área de influência da rodovia.

**Colisão com objeto móvel:** colisão de veículo motorizado com objeto móvel, tais como: pneu, pedaço de madeira, etc., presente na área da via destinada ao trânsito de veículos.

- Sinalização

**Vertical:** é um subsistema da sinalização viária cujo meio de comunicação está na posição vertical, normalmente em placa, fixado ao lado ou suspenso sobre a pista, transmitindo mensagens de caráter permanente e, eventualmente, variáveis, através de legendas e/ou símbolos pré-reconhecidos e legalmente instituídos.

**Horizontal:** é um subsistema da sinalização viária que se utiliza de linhas, marcações, símbolos e legendas, pintados ou apostos sobre o pavimento das vias.

**Manual:** é utilizada para auxiliar o motorista em seu posicionamento na pista ou alertá-lo sobre situações de perigo potencial.

**Inexistente:** quando não existe nenhum tipo de sinalização.

- Obstáculo ao Cruzamento

**Sarjeta:** são valas geralmente localizadas ao longo das vias pavimentadas, para onde escoam as águas da chuva.

**Muro:** Muro de proteção entre as rodovias, ou ao longo delas.

**Não existe:** sem obstáculo ao cruzamento.

**Tela:** impede a passagem de pedestres de um lado ao outro da rodovia.

**Com Antiofuscante:** tem a função de impedir que o farol alto dos carros atrapalhe a visão dos motoristas.



**Meio-fio:** são dispositivos posicionados lateralmente ao pavimento com a função de delimitar a área da plataforma, possibilitando o direcionamento do tráfego e também protege as bordas da pista contra os efeitos da erosão.

**Canal:** é um dispositivo geralmente situado ao longo das rodovias, responsável por conduzir a água das chuvas.

- Curva Vertical na Pista

**Lombada:** quando a curva vertical é uma lombada

**Depressão:** quando a curva vertical é uma depressão.

**Não:** quando não existe curva vertical na pista.

- **Superelevação da pista:** é a inclinação transversal que se dá as pistas nos trechos em curvas, afim de fazer frente a força que atua sobre o veículo que executa uma trajetória curvilínea.
- **Superlargura Pista:** é um alargamento que se dá as faixas de rolamento em trechos curvos, com a finalidade de melhorar as condições do tráfego, especialmente para veículos longos que fazem a curva.
- **Estreitamento da pista:** é um estreitamento que se dá as faixas quando há obras na pista.

A discretização foi realizada utilizando o VBA (Visual Basic for Applications)<sup>1</sup> do Microsoft Excel®, devido a grande quantidade de dados, e o código pode ser encontrado no ANEXO A. Esse mesmo código gera uma matriz dicotômica, onde (1) indica a ocorrência de uma determinada variável e (0) a não ocorrência. Cada linha da matriz dicotômica indica um acidente e cada coluna uma variável. Para ficar mais claro, considere a variável colisão traseira no acidente 7 (sétimo acidente da planilha), se essa entrada da matriz for (1), indica que o tipo de acidente é colisão traseira, caso contrário, indica que o tipo de acidente não é colisão traseira.

---

<sup>1</sup>Linguagem de programação baseada no Visual Basic que adiciona a capacidade de automatizar tarefas e prover funções definidas pelo usuário.

Esta matriz não foi utilizada para realizar a Análise Fatorial devido à fracas correlações entre as variáveis, gerando o índice MSA abaixo de 0,5 e também por não haver sentido em criar indicadores para cada acidente a partir dos escores fatoriais. Entretanto esta matriz foi utilizada para determinar as outras três matrizes de frequências.

A matriz de frequência foi obtida calculando a quantidade de acidentes ocorridos para cada quilômetro e cada variável. Por exemplo, considere o quilômetro 30 da rodovia, supondo que ocorreram 10 acidentes nesse quilômetro; na matriz dicotômica eles eram representados por 10 linhas distintas, na matriz de frequências torna-se uma linha só com a soma dos valores das 10 linhas da matriz dicotômica. Uma entrada dessa matriz seria, considerando a variável condição meteorológica chuva, no quilômetro 30, a quantidade de acidentes que ocorreram com chuva naquele quilômetro.

Devido a constantes mudanças na rodovia, tais como duplicação, modificação de trevos, pavimentação de acostamentos, entre outros, a Análise Fatorial foi realizada três vezes, em períodos distintos, para verificar se houve modificação dos quilômetros mais perigosos, de acordo com cada período. Esses períodos são:

**AF1.** de janeiro de 2007 a novembro de 2009;

**AF2.** de janeiro de 2009 a novembro de 2009;

**AF3.** meses de férias (janeiro, fevereiro, julho e dezembro) de janeiro de 2007 a novembro de 2009.

Para cada um destes períodos foi obtida uma matriz de frequências diferente, sendo que o número de variáveis de uma análise para a outra difere, pois não houve a ocorrência de determinadas variáveis em alguns períodos. Além disso, algumas variáveis foram eliminadas, por serem combinações lineares de outras, impedindo a realização do Teste de Esfericidade de Bartlett que utiliza o determinante da matriz de correlação da matriz de frequências.

### 3.2 METODOLOGIA UTILIZADA

Na **AF1** foi utilizada uma matriz de 637 linhas  $\times$  93 variáveis. Neste caso a análise fatorial foi aplicada três vezes sendo que as duas primeiras tinham o objetivo de eliminar variáveis com comunalidades baixas (abaixo de 0,7). Na Análise Fatorial interpretada (última) foram consideradas comunalidades acima de 0,5. Para determinação do número de fatores foi utilizado o critério de Kaiser (número de fatores igual ao número de autovalores maiores que a unidade). O critério de rotação varimax foi utilizado apenas na última análise, para facilitar a interpretação dos fatores, sendo que nesta última Análise Fatorial, variáveis com comunalidades abaixo de 0,5 não foram incluídas no modelo. Outros critérios foram utilizados, porém não produziram fatores mais simples que o critério varimax. Quanto aos escores, eles foram obtidos utilizando-se os mínimos quadrados ponderados.

Os mesmos procedimentos foram utilizados na **AF2** e **AF3**, com 574 linhas  $\times$  80 variáveis e 488 linhas  $\times$  92 variáveis, respectivamente. Nestes dois casos, a primeira Análise Fatorial foi feita para eliminar variáveis com comunalidades baixas e a segunda foi interpretada.

Todos os cálculos foram realizados em um programa implementado em FORTRAN 90. O código pode ser encontrado no anexo B. Os fatores rotacionados obtidos pelo programa foram comparados com os fatores calculados pelo software STATISTICA®. Algumas diferenças foram observadas a partir da terceira casa decimal.

No capítulo 4 será discutido os resultados obtidos, utilizando a metodologia e os dados que foram descritos neste capítulo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Afim de verificar se existe diferença no perfil dos acidentes ocorridos na BR-277 entre janeiro de 2007 e novembro de 2009, a Análise Fatorial pelo método das componentes principais foi aplicada em três períodos distintos:

- a) entre janeiro de 2007 e novembro de 2009;
- b) entre janeiro de 2009 e novembro de 2009;
- c) nos meses de férias (janeiro, fevereiro, julho e dezembro) entre janeiro de 2007 e novembro de 2009.

A Análise Fatorial poderia também ter sido feita pelo método da máxima verossimilhança, entretanto os dados não são normalmente distribuídos, o que impede o procedimento (FIGURA 12). Assim, aplicou-se o o método das componentes principais na estimação dos parâmetros.

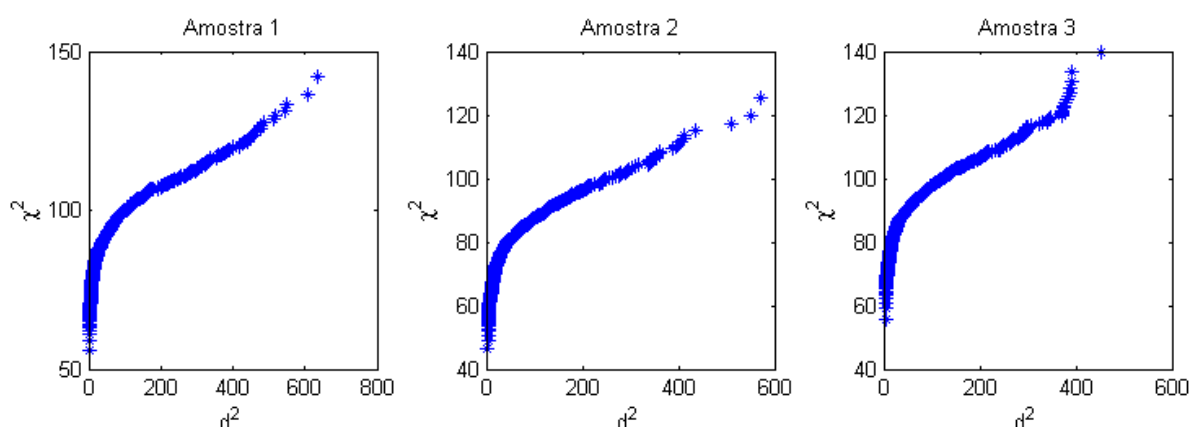


FIGURA 12: Teste de normalidade realizados para as três amostras: amostra 1 - jan/2007 a nov/2009; amostra 2 - meses de férias entre jan/2007 e nov/2009; amostra 3: jan/2009 a nov/2009.

FONTE: O autor (2010)

A primeira etapa do trabalho foi encontrar os quilômetros da rodovia onde se concentram a maior parte dos acidentes. De acordo com o histograma da figura 13 pode-se observar uma grande concentração de acidentes nos primeiros 100 quilômetros da rodovia (entre Paranaguá - PR e Curitiba - PR) e também do quilômetro 500 até o final da rodovia, ou seja o quilômetro 731 (Entre Laranjeiras do Sul - PR e Foz do Iguaçu - PR) em todos os períodos estudados.

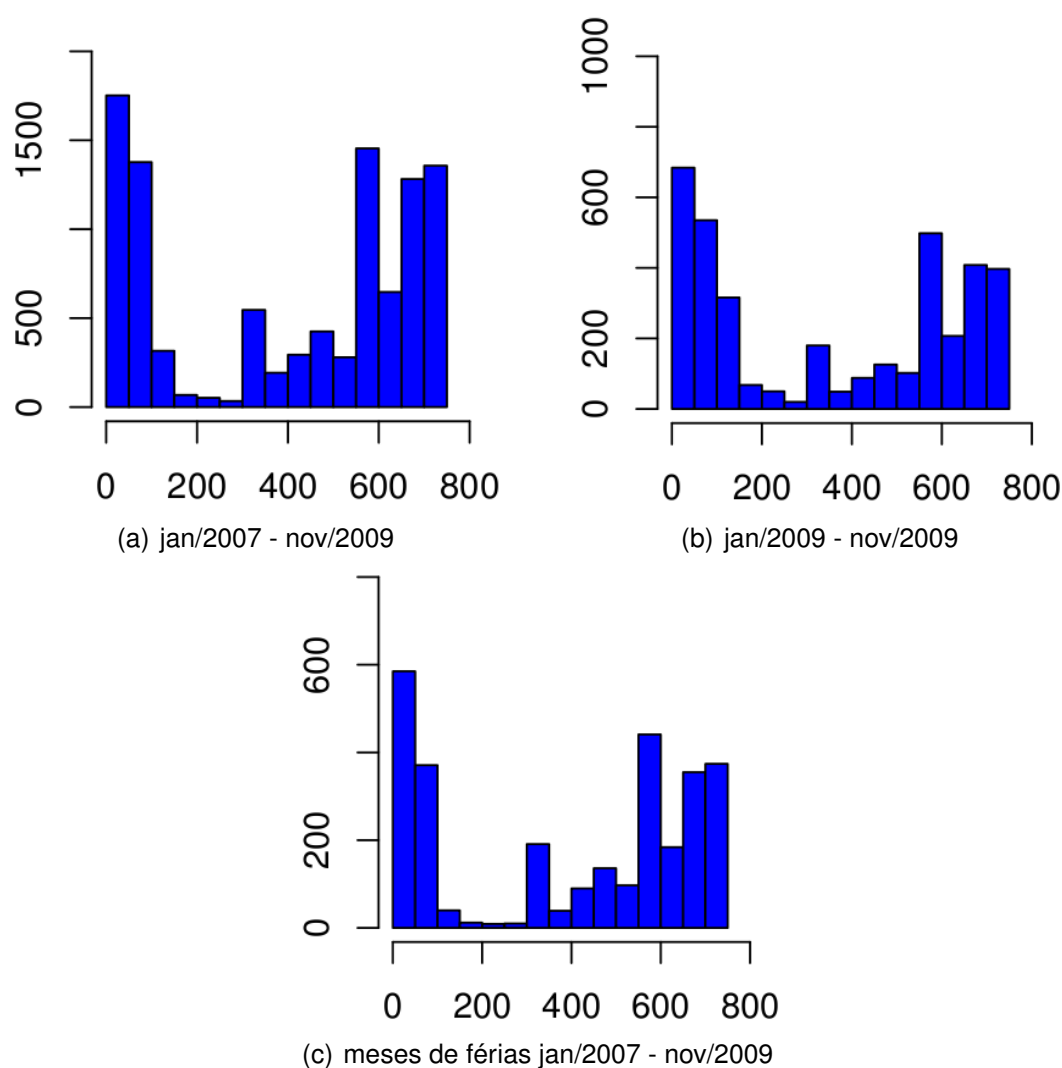


FIGURA 13: Histogramas das distribuições dos acidentes

FONTE: O autor (2010)

Pode-se observar que a distribuição dos acidentes altera pouco de período para período. Deve-se ressaltar que no trecho entre Curitiba e Laranjeiras do Sul a PRF não registrava todos os acidentes ocorridos. A partir de 2010, todos os acidentes da

BR-277 são registrados pela PRF.

#### 4.1 APLICAÇÃO DA ANÁLISE FATORIAL DE 2007 A 2009

Ao conjunto de dados inicial (637 linhas  $\times$  93 variáveis) aplicou-se três vezes a análise fatorial. É importante destacar que as duas primeiras análises foram realizadas com o objetivo de eliminar variáveis, devido a grande quantidade de variáveis presentes na matriz. Apenas a última Análise Fatorial foi interpretada. Os resultados de cada Análise Fatorial podem ser encontrados na tabela 4, lembrando que a porcentagem da variância explicada na primeira Análise Fatorial foi calculada para as 93 variáveis utilizadas, na segunda, 73 variáveis, e na terceira, 66 variáveis.

TABELA 4: Resultados de cada Análise Fatorial

Análise Fatorial	<i>p - value</i> Teste de Esfericidade de Bartlett	MSA (KMO)	Número de Fatores	Variância Explicada (%)
1	$\approx 0$	0,81	17	80,94
2	$\approx 0$	0,91	11	84,09
3	$\approx 0$	0,91	9	86,86

FONTE: O autor (2010)

Pode-se observar que os dois testes (Teste de Esfericidade de Bartlett e MSA de Kaiser-Meyer-Olkin) indicam a Análise Fatorial adequada ao conjunto de dados em cada Análise Fatorial feita. O valor de  $p$  no Teste de Esfericidade de Bartlett indica que a hipótese nula deve ser rejeitada, ou seja, a matriz de correlações pode ser considerada diferente da matriz identidade. O critério usado para eliminar variáveis foi a comunalidade abaixo de 0,7 nas duas primeiras análises. Na terceira Análise Fatorial apenas uma variável (Causa Do Acidente\_Defeito Mecânico Em Veículo ) teve comunalidade abaixo de 0,5, portanto não foi incluída no modelo. Os resultados desta Análise Fatorial podem ser encontrados na tabela 5.

TABELA 5: Resultados da Análise Fatorial (2007 - 2009): pesos e comunalidades

Variáveis	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	Com.
sentido da via_crescente	<b>0,94</b>	0,09	0,13	0,14	0,06	0,13	0,05	0,07	0,05	0,95
sentido da via_decrescente	<b>0,83</b>	0,36	0,20	0,12	0,08	0,20	0,07	0,10	0,09	0,94
tipo de acidente_colisão transversal	<b>0,92</b>	-0,12	0,03	0,01	-0,12	0,13	-0,01	0,06	0,02	0,89
tipo de acidente_saida de pista	0,23	0,42	<b>0,58</b>	0,00	-0,13	0,33	0,09	0,11	0,06	0,72
tipo de acidente_*	<b>0,66</b>	0,15	0,32	0,14	0,23	0,21	0,04	0,02	0,00	0,69
tipo de acidente_colisão com objeto fixo	0,33	<b>0,78</b>	0,12	0,08	0,17	-0,03	0,20	0,12	0,03	0,82
tipo de acidente_colisão traseira	<b>0,90</b>	0,14	-0,02	0,02	0,18	0,08	0,04	0,05	0,07	0,88
tipo de acidente_colisão lateral	<b>0,86</b>	0,12	0,04	0,32	0,04	-0,03	0,03	0,04	-0,06	0,86
tipo de acidente_atropelamento de animal	0,15	-0,01	0,09	0,12	0,07	0,06	-0,01	0,00	<b>0,93</b>	0,93
causa do acidente_falta de atenção	<b>0,97</b>	0,06	0,07	0,08	-0,01	0,11	0,01	0,06	0,02	0,97
causa do acidente_defeito mecânico em veículo	0,24	0,54	0,16	0,01	-0,02	0,32	0,11	-0,05	0,03	0,49
causa do acidente_**	<b>0,72</b>	0,22	-0,12	0,09	0,39	0,14	0,04	0,12	0,09	0,78
causa do acidente_velocidade incompatível	0,19	<b>0,82</b>	0,20	0,10	0,12	0,08	0,07	0,13	0,04	0,81
causa do acidente_ingestão de álcool	0,40	0,11	0,24	0,27	0,29	0,20	<b>0,45</b>	0,07	0,22	0,68
causa do acidente_desobediência à sinalização	<b>0,83</b>	-0,04	0,05	0,14	-0,07	-0,08	0,05	-0,02	-0,06	0,73
causa do acidente_animaís na pista	0,17	-0,01	0,12	0,09	0,19	0,08	0,01	-0,02	<b>0,91</b>	0,92
condição pista_seca	<b>0,95</b>	0,11	0,16	0,06	0,09	0,15	0,05	0,04	0,08	0,99
condição pista_molhada	<b>0,58</b>	0,56	0,15	0,26	0,01	0,22	0,09	0,25	0,03	0,86
condição pista_com buraco	0,18	0,03	0,00	<b>0,91</b>	-0,03	-0,05	-0,01	-0,03	0,07	0,88
restrição visibilidade_inexistente	<b>0,93</b>	0,21	0,17	0,14	0,08	0,16	0,07	0,04	0,07	0,99
restrição visibilidade_poeira/fumaça/neblina	0,17	0,24	0,01	-0,06	0,00	0,10	0,01	<b>0,90</b>	0,00	0,92
sinalização_vertical, horizontal	<b>0,94</b>	0,20	0,15	0,04	0,06	0,18	0,04	0,10	0,08	0,99
sinalização_vertical, horizontal, manual	0,19	0,01	0,01	-0,04	0,11	0,08	<b>0,85</b>	0,01	0,03	0,77

continua

Variáveis	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	Com.
sinalização_ vertical	<b>0,60</b>	0,26	0,20	0,55	0,09	0,16	0,08	-0,04	0,00	0,80
sinalização_ horizontal	<b>0,61</b>	0,38	0,23	0,28	0,18	-0,06	0,00	0,08	-0,03	0,70
sinalização_ inexistente	0,32	0,01	0,01	<b>0,79</b>	-0,03	0,01	0,10	0,00	0,06	0,74
fase do dia_ plena noite	<b>0,75</b>	0,19	0,33	0,20	0,12	0,30	0,08	0,09	0,16	0,90
fase do dia_ pleno dia	<b>0,94</b>	0,24	0,06	0,09	0,05	0,08	0,05	0,06	0,01	0,97
fase do dia_ anoitecer	<b>0,81</b>	0,05	0,11	0,13	-0,01	0,15	0,03	0,08	0,12	0,73
condição meteorológica_ céu claro	<b>0,93</b>	0,05	0,21	0,02	0,03	0,20	0,02	0,02	0,06	0,96
condição meteorológica_ sol	<b>0,92</b>	0,10	0,05	0,09	0,06	0,02	0,00	0,01	0,02	0,87
condição meteorológica_ chuva	0,56	<b>0,56</b>	0,16	0,30	-0,05	0,21	0,08	0,12	0,03	0,82
condição meteorológica_ nublado	<b>0,79</b>	0,30	0,11	0,23	0,24	0,08	0,12	0,04	0,14	0,89
condição meteorológica_ nevoeiro/neblina	0,23	0,19	0,01	-0,02	0,01	0,10	0,09	<b>0,90</b>	-0,01	0,91
sinalização luminosa_ inexistente	<b>0,84</b>	0,26	0,24	0,22	0,10	0,27	0,04	0,11	0,07	0,97
sinalização luminosa_ funciona	<b>0,79</b>	0,01	-0,15	-0,07	-0,06	-0,27	0,15	-0,05	0,05	0,75
acostamento_ sim	<b>0,63</b>	0,24	0,32	0,08	0,16	0,58	0,07	0,12	0,14	0,96
acostamento_ não	<b>0,92</b>	0,14	-0,02	0,15	-0,03	-0,27	0,04	0,03	-0,02	0,96
desnível acostamento_ não	<b>0,93</b>	0,24	0,17	0,15	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,99
desnível acostamento_ sim	0,52	-0,02	0,11	-0,01	-0,01	<b>0,69</b>	0,02	0,19	0,12	0,81
acostamento pavimentado_ sim	<b>0,62</b>	0,23	0,35	0,03	0,16	0,58	0,07	0,11	0,13	0,96
conservação acostamento_ bom	<b>0,63</b>	0,25	0,33	0,01	0,17	0,58	0,08	0,12	0,14	0,96
conservação acostamento_ ruim	0,15	0,06	-0,03	<b>0,83</b>	0,00	0,03	-0,05	-0,02	0,20	0,76
canteiro_ não	<b>0,81</b>	0,09	-0,34	0,17	-0,12	0,34	0,11	0,11	0,06	0,96
canteiro_ sim	<b>0,68</b>	0,27	0,61	0,05	0,23	-0,07	-0,01	0,02	0,05	0,97
obstáculo ao cruzamento_ sarjeta	0,21	-0,02	<b>0,88</b>	-0,02	-0,06	0,17	0,00	0,00	0,07	0,86
obstáculo ao cruzamento_ muro	0,12	<b>0,86</b>	-0,04	0,05	0,08	0,07	-0,06	0,16	-0,03	0,79

continuação



Variáveis	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	Com.
obstáculo ao cruzamento_não existe	0,53	0,05	<b>0,73</b>	-0,05	-0,10	0,00	-0,02	0,03	0,07	0,83
obstáculo ao cruzamento_tela	0,14	0,05	0,02	-0,01	<b>0,92</b>	0,04	0,17	-0,01	0,12	0,91
obstáculo ao cruzamento_com antiofuscante	0,15	0,05	0,01	-0,03	<b>0,91</b>	0,02	0,10	0,01	0,14	0,88
obstáculo ao cruzamento_meio-fio	<b>0,82</b>	0,08	0,22	0,09	-0,06	-0,31	-0,12	-0,03	-0,06	0,86
obstáculo ao cruzamento_canal	0,18	0,06	<b>0,78</b>	0,01	0,03	0,08	0,19	-0,03	0,15	0,72
pista_simples	<b>0,78</b>	-0,16	-0,38	0,04	-0,19	0,32	0,10	0,11	0,08	0,94
pista_dupla	0,55	0,45	<b>0,60</b>	0,16	0,28	-0,02	-0,02	0,02	0,03	0,96
perfil pista_em nível	<b>0,87</b>	0,02	0,29	0,24	0,17	-0,05	0,08	0,04	0,10	0,95
perfil pista_rampa ≥ 3%	0,33	0,41	-0,11	-0,05	-0,13	<b>0,61</b>	-0,04	0,15	-0,03	0,71
perfil pista_rampa < 3%	<b>0,67</b>	0,44	-0,15	-0,17	-0,17	0,30	0,01	0,09	0,00	0,82
traçado pista_reta	<b>0,73</b>	0,05	0,25	0,27	0,23	0,37	0,16	0,05	0,17	0,93
traçado pista_curva	0,40	<b>0,77</b>	0,03	-0,05	-0,12	0,06	-0,05	0,16	-0,08	0,81
curva vertical pista_não	<b>0,91</b>	0,22	0,22	0,14	0,10	0,14	0,06	0,09	0,08	0,99
superelevação pista_não	<b>0,93</b>	0,22	0,18	0,13	0,07	0,16	0,06	0,08	0,07	0,99
superlargura pista_não	<b>0,92</b>	0,22	0,17	0,14	0,08	0,18	0,06	0,09	0,07	0,99
estreitamento pista_não existe	<b>0,92</b>	0,23	0,18	0,13	0,07	0,19	0,03	0,09	0,07	0,99
estreitamento pista_provisão	0,07	0,14	0,09	0,10	0,24	-0,03	<b>0,80</b>	0,10	-0,06	0,76
conservação pista_bom	<b>0,93</b>	0,22	0,19	0,00	0,08	0,17	0,06	0,10	0,07	0,99
conservação pista_com erosão	0,33	0,10	-0,02	<b>0,86</b>	0,02	0,03	0,05	-0,04	-0,01	0,86
Variância Explicada	29,685	5,866	4,872	4,302	2,815	3,627	1,928	2,089	2,151	
Proporção da Variância Explicada (%)	44,98	8,89	7,38	6,52	4,27	5,49	2,92	3,16	3,26	
Variância Explicada Acumulada (%)	44,98	53,86	61,25	67,76	72,03	77,52	80,44	83,61	86,87	

Nota: \* queda de motocicleta / bicicleta / veículo

\*\*\* não guardar distância de segurança

FONTE: O autor (2010)

Os 9 fatores obtidos da última Análise Fatorial, feita pelo método das componentes principais e usando o critério de rotação varimax, são descritos em detalhes abaixo:

**Fator 1:** condutor (Variância explicada: 44,98%)

1. sentido da via\_crescente (Comunalidade: 0,95; Peso: 0,94);
2. sentido da via\_decrescente (Comunalidade: 0,94; Peso: 0,83);
3. tipo de acidente\_colisão transversal (Comunalidade: 0,89; Peso: 0,92);
4. tipo de acidente\_colisão traseira (Comunalidade: 0,88; Peso: 0,90);
5. tipo de acidente\_colisão lateral (Comunalidade: 0,86; Peso: 0,86);
6. tipo de acidente\_queda de motocicleta / bicicleta / veículo (Comunalidade: 0,69; Peso: 0,66);
7. causa do acidente\_falta de atenção (Comunalidade: 0,97; Peso: 0,97);
8. causa do acidente\_não guardar distância de segurança (Comunalidade: 0,78; Peso: 0,72);
9. causa do acidente\_desobediência à sinalização (Comunalidade: 0,73; Peso: 0,83);
10. condição pista\_seca (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,95);
11. condição pista\_molhada (Comunalidade: 0,86; Peso: 0,58);
12. restrição visibilidade\_inexistente (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,93);
13. sinalização\_vertical, horizontal (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,94);
14. sinalização\_vertical (Comunalidade: 0,80; Peso: 0,60);
15. sinalização\_horizontal (Comunalidade: 0,70; Peso: 0,61);
16. fase do dia\_plena noite (Comunalidade: 0,90; Peso: 0,75);

17. fase do dia\_pleno dia (Comunalidade: 0,97; Peso: 0,94);
18. fase do dia\_anoitecer (Comunalidade: 0,73; Peso: 0,81);
19. condição meteorológica\_ céu claro (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,93);
20. condição meteorológica\_sol (Comunalidade: 0,87; Peso: 0,92);
21. condição meteorológica\_nublado (Comunalidade: 0,89; Peso: 0,79);
22. sinalização luminosa\_inexistente (Comunalidade: 0,97; Peso: 0,84);
23. sinalização luminosa\_funciona (Comunalidade: 0,75; Peso: 0,79);
24. acostamento\_sim (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,63);
25. acostamento\_não (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,92);
26. desnível acostamento\_não (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,93);
27. acostamento pavimentado\_sim (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,62);
28. conservação acostamento\_bom (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,63);
29. canteiro\_não (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,81);
30. canteiro\_sim (Comunalidade: 0,97; Peso: 0,68);
31. obstáculo ao cruzamento\_meio-fio (Comunalidade: 0,86; Peso: 0,82);
32. pista\_simples (Comunalidade: 0,94; Peso: 0,78);
33. perfil pista\_em nível (Comunalidade: 0,95; Peso: 0,87);
34. perfil pista\_rampa < 3% (Comunalidade: 0,82; Peso: 0,67);
35. traçado pista\_reta (Comunalidade: 0,93; Peso: 0,73);
36. curva vertical pista\_não (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,91);
37. superelevação pista\_não (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,93);

- 38. superlargura pista\_não (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,92);
- 39. estreitamento pista\_não existe (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,92);
- 40. conservação pista\_bom (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,93).

**Fator 2:** Imprudência do motorista em dias de chuva (Variância explicada: 8,89%)

- 1. tipo de acidente\_colisão com objeto fixo (Comunalidade: 0,82; Peso: 0,78);
- 2. causa do acidente\_velocidade incompatível (Comunalidade: 0,81; Peso: 0,82);
- 3. condição meteorológica\_chuva (Comunalidade: 0,82; Peso: 0,56);
- 4. obstáculo ao cruzamento\_muro (Comunalidade: 0,79; Peso: 0,86);
- 5. traçado pista\_curva (Comunalidade: 0,81; Peso: 0,77).

**Fator 3:** Desobediência do motorista (Variância explicada: 7,38%)

- 1. tipo de acidente\_saída de pista (Comunalidade: 0,72; Peso: 0,58);
- 2. obstáculo ao cruzamento\_sarjeta (Comunalidade: 0,86; Peso: 0,88);
- 3. obstáculo ao cruzamento\_não existe (Comunalidade: 0,83; Peso: 0,73);
- 4. obstáculo ao cruzamento\_canal (Comunalidade: 0,72; Peso: 0,78);
- 5. pista\_dupla (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,60).

**Fator 4:** Pista mal conservada (Variância explicada: 6,52%)

- 1. condição pista\_com buraco (Comunalidade: 0,88; Peso: 0,91);
- 2. sinalização\_inexistente (Comunalidade: 0,74; Peso: 0,79);
- 3. conservação acostamento\_ruim (Comunalidade: 0,76; Peso: 0,83);
- 4. conservação pista\_com erosão (Comunalidade: 0,86; Peso: 0,86).

**Fator 5:** Pista com antiofuscante (Variância explicada: 4,27%)

1. obstáculo ao cruzamento\_tela (Comunalidade: 0,91; Peso: 0,92);
2. obstáculo ao cruzamento\_com antiofuscante (Comunalidade: 0,88; Peso: 0,91).

**Fator 6:** Pista inclinada com desnível para acostamento (Variância explicada: 5,49%)

1. desnível acostamento\_sim (Comunalidade: 0,81; Peso: 0,69);
2. perfil pista\_rampa  $\geq$  3% (Comunalidade: 0,71; Peso: 0,61).

**Fator 7:** Pista sinalizada (Variância explicada: 2,92%)

1. sinalização\_vertical, horizontal, manual (Comunalidade: 0,77; Peso: 0,85);
2. causa do acidente\_ingestão de álcool (Comunalidade: 0,68; Peso: 0,45);
3. estreitamento de pista\_provisão (Comunalidade: 0,76; Peso: 0,80).

**Fator 8:** Restrição de visibilidade (Variância explicada: 3,16%)

1. restrição visibilidade\_poeira/fumaça/neblina (Comunalidade: 0,92; Peso: 0,90);
2. condição meteorológica\_nevoeiro/neblina (Comunalidade: 0,91; Peso: 0,90).

**Fator 9:** Animais na pista (Variância explicada: 3,26%)

1. causa do acidente\_animais na pista (Comunalidade: 0,93; Peso: 0,92);
2. tipo de acidente\_atropelamento de animal (Comunalidade: 0,92; Peso: 0,91).

O gráfico relacionando os dois primeiros fatores pode ser observado na figura 14. Este gráfico mostra o peso das variáveis agrupadas nos fatores 1 (vermelha), 2(azul) e em outros fatores (verde). A tabela 6 mostra o *ranking* dos piores quilômetros de acordo com cada fator. Nesta tabela observa-se que o primeiro fator (condutor), aparecem os quilômetros 584, 726 e 728, como sendo os piores com relação ao número

acidentes com as características das variáveis agrupadas neste fator. Para os demais fatores os quilômetros que aparecem são os piores de acordo com as variáveis agrupadas em cada fator.

TABELA 6: *Ranking* dos quilômetros de acordo com cada fator

Fatores	1ª Posição	2ª Posição	3ª Posição
Fator 1	584	726	728
Fator 2	37	36	84
Fator 3	723	721	726
Fator 4	3	2	1
Fator 5	80	81	82
Fator 6	593	583	588
Fator 7	66	60	65
Fator 8	42	488	43
Fator 9	702	3	76

FONTE: O autor (2010)

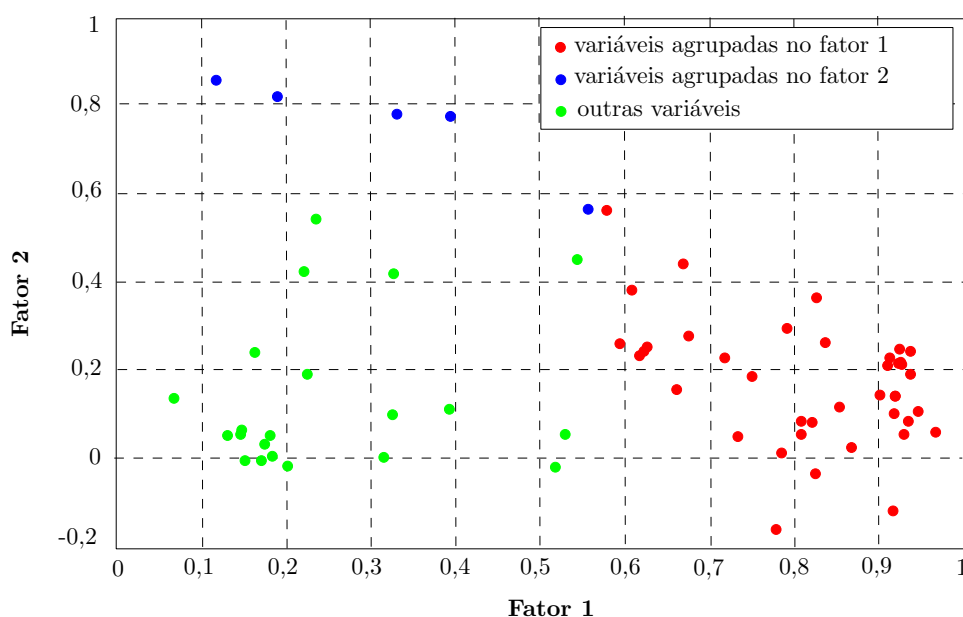


FIGURA 14: Relação entre os dois primeiros fatores

FONTE: O autor (2010)

O gráfico da figura 15 mostra a dispersão dos escores fatoriais dos dois primeiros fatores, observando que os números indicam o quilômetro da rodovia. Neste gráfico, os quilômetros mais distantes da origem são os mais perigosos de acordo com seus respectivos fatores. No fator 1, pode-se observar que os quilômetros 584 (Cascavel), 726 e 728 (Foz do Iguaçu), são os piores com relação às características desse fator.

enquanto que no fator 2 observa-se que os quilômetros 37, 36 (entre Paranaguá e Curitiba) e 84 (Curitiba) também são os piores com relação às variáveis agrupadas neste fator.

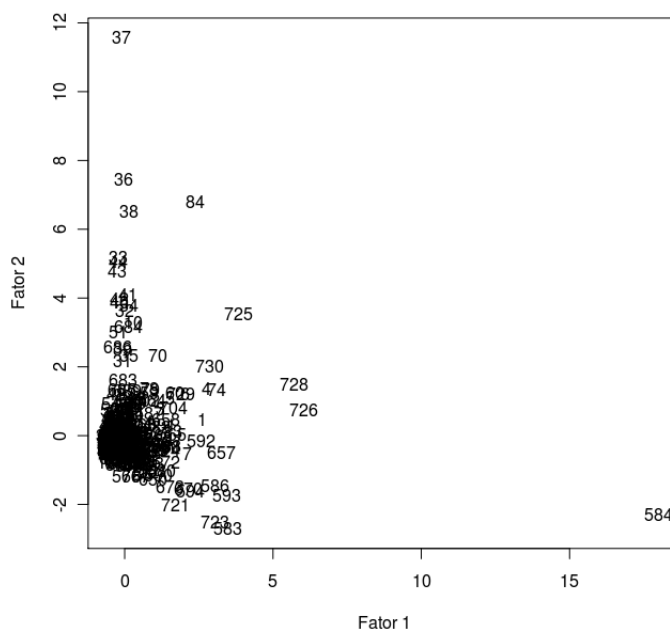


FIGURA 15: Dispersão dos escores fatoriais: fator 1  $\times$  fator 2

FONTE: O autor (2010)

#### 4.1.1 Discussão da Análise Fatorial de 2007 a 2009

O objetivo principal da Análise Fatorial aplicado à matriz de correlação da matriz de frequências obtida por meio do banco de dados da PRF é determinar fatores que possam agrupar variáveis e também escores fatoriais, para encontrar os pontos mais críticos com relação ao número de acidentes da BR-277. Interpretando conjuntamente os fatores e os escores fatoriais obtidos na terceira Análise Fatorial pode-se concluir:

- O fator condutor, é o mais significativo, pois explica 44,98% da variância dos dados. Todas as variáveis deste fator têm comunalidades acima de 0,69. Este fator reúne variáveis, tais como os três tipos de colisão (transversal, traseira e lateral), ligado a falta de atenção dos motoristas e também o fato de não guardarem a distância de segurança e desobediência à sinalização. Pode-se ainda perceber

que as condições meteorológicas estão quase todas presentes nesse fator, exceto a chuva, o mesmo ocorre com as condições de pista, entre outras. Quanto ao tipo de pista, observa-se pista reta, simples e com inclinação menor que 3% sem superelevação, superlargura ou estreitamento. Analisando os escores fatoriais desse fator e selecionando apenas os três primeiros (mais expressivos), consegue-se identificar os quilômetros km 584 (Cascavel - PR), km 726 e km 728 (Foz do Iguaçu - PR) que estão intimamente ligados com as características desse fator.

- O fator imprudência do motorista em dias de chuva explica 8,89% da variância dos dados. Todas as variáveis deste fator têm comunalidades acima de 0,79. Neste fator observa-se a junção das variáveis velocidade incompatível com pista inclinada, curva, obstáculo ao cruzamento com muro e colisão com objeto fixo. Pelos escores fatoriais, consegue-se identificar os três quilômetros onde ocorrem acidentes com essa característica: km 37, km 36 e KM 84 (entre Paranaguá - PR e Curitiba - PR), o que indica que a maioria dos acidentes com esse perfil estão ocorrendo nesses quilômetros da BR-277.
- O fator desobediência do motorista agrupa as variáveis relacionadas ao tipo de acidente saída de pista aliado à pista dupla, sem obstáculos ao cruzamento, com canal e sarjeta. O nome desse fator se deve ao fato da variável pista dupla, que permite que os motoristas atinjam velocidades maiores, e também a variável saída de pista. Este fator explica 7,38% da variância dos dados e as comunalidades das variáveis são maiores ou iguais a 0,72. Acidentes com essa característica se concentram principalmente nos quilômetros km 723, km 721 e km 726 (Foz do Iguaçu - PR).
- No fator pista mal conservada tem-se as variáveis: pista com buraco e erosão, sinalização inexistente e conservação de acostamento ruim. A variância explicada deste fator é 6,52% e as variáveis possuem comunalidades maiores ou iguais a 0,74. Os acidentes que ocorrem na rodovia com essa característica es-



tão concentrados principalmente nos quilômetros km 3, km 2 e km 1 (Paranaguá - PR).

- No fator pista com antiofuscante tem-se as variáveis: obstáculo ao cruzamento com tela e com antiofuscante. Este fator explica 4,27% da variância e as comunalidades são altas, maiores ou iguais a 0,87. Acidentes envolvendo esses tipos de obstáculos ao cruzamento ocorrem principalmente nos quilômetros KM 80, km 81 e km 82 (Curitiba - PR).
- O fator pista inclinada com desnível para acostamento agrupa as variáveis: acostamento em desnível e pista com inclinação maior que ou igual a 3%. Este fator explica 5,49% da variância dos dados e as comunalidades das variáveis estão acima de 0,7. Nesse fator os escores fatoriais apontam os quilômetros km 593, km 583 e km 588 (próximo a Cascavel - PR) como sendo os de maior peso para acidentes na rodovia com essas características.
- O fator pista sinalizada é composto pelas variáveis causa do acidente (ingestão de álcool) com correlação baixa (TABELA 5), estreitamento de pista provisória e sinalização vertical, horizontal e manual. Esse fator explica 2,92% da variância dos dados e as comunalidades das variáveis estão acima de 0,68. Pelos escores fatoriais pode-se observar que, nos quilômetros km 66, km 60 e km 65 (entre Paranaguá - PR e Curitiba - PR) ocorrem acidentes com pista sinalizada.
- O fator restrição de visibilidade envolve acidentes ligados às condições meteorológicas (nevoeiro e neblina) e restrição de visibilidade (fumaça, poeira e neblina), explicando 3,16% da variância. As variáveis deste fator apresentam comunalidades altas: acima de 0,9. Acidentes com esse perfil ocorrem principalmente nos quilômetros km 42, km 43 (entre Paranaguá - PR e Curitiba - PR) e o km 488 (próximo a Nova Laranjeiras - PR).
- Finalmente o fator animais na pista, está ligado aos acidentes com atropelamento de animais e animais na pista, explicando 3,26% da variância dos dados. Assim

como no fator restrição de visibilidade as variáveis apresentam comunalidades acima de 0,9. Pode-se identificar os quilômetros km 702 (entre Medianeira - PR e Foz do Iguaçu - PR), km 3 (Paranaguá - PR) e km 76 (próximo a Curitiba - PR) ligados a esse fator.

#### 4.1.2 *Ranking* dos piores quilômetros entre 2007 e 2009

Calculando-se os escores fatoriais finais ponderados, por meio dos nove fatores obtidos, e criando uma escala entre 0 e 10, encontra-se os quilômetros mais problemáticos de acordo com o número de acidentes registrados.

TABELA 7: Escores fatoriais finais ponderados em ordem decrescente

Quilômetro	Local	Escore
584	Cascavel	10,0
726	Foz do Iguaçu	3,6
728	Foz do Iguaçu	3,4
1	Paranaguá	2,9
593	Cascavel	2,9
4	Paranaguá	2,8
583	Cascavel	2,7
657	Matelândia	2,6
725	Foz do Iguaçu	2,6
⋮	⋮	⋮
180	próx. Palmeira	0,0
443	próx. Laranjeiras do Sul	0,0
386	próx. Guarapuava	0,0

FONTE: O autor (2010)

Imagens desses quilômetros podem ser observadas nas imagens das figuras 16, 17 e 18:



FIGURA 16: Quilômetro 584 - trevo cataratas (Cascavel). BR-277: rodovia do lado esquerdo  
FONTE: *Google Maps* (2010), fotografada em 2008



FIGURA 17: Quilômetro 726 - Foz do Iguaçu. BR-277: rodovia horizontal  
FONTE: *Google Earth* (2010), fotografada em 2006



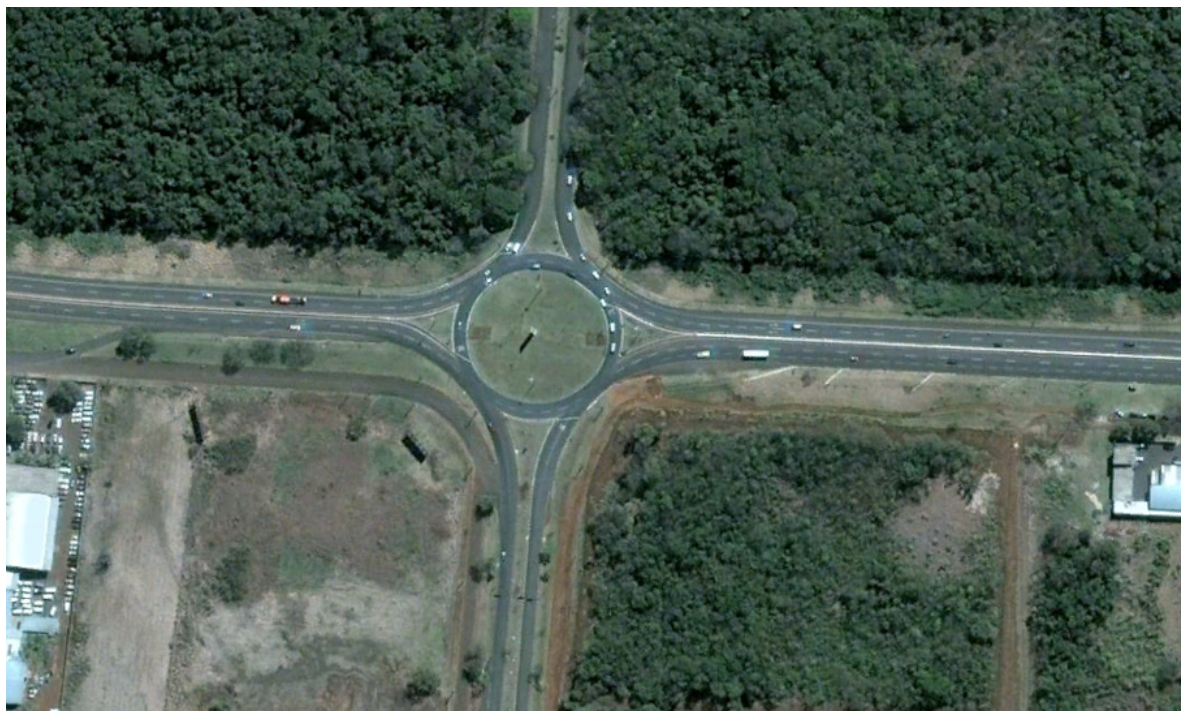


FIGURA 18: Quilômetro 728 - Foz do Iguaçu. BR-277: rodovia horizontal

FONTE: *Google Earth* (2010), fotografada em 2006

#### 4.2 APLICAÇÃO DA ANÁLISE FATORIAL EM 2009

Devido as modificações efetuadas em alguns trechos da rodovia, esta Análise Fatorial tem o objetivo de verificar se os fatores continuam os mesmos da Análise Fatorial anterior.

Na primeira Análise Fatorial, com o objetivo de excluir variáveis com comunalidades abaixo de 0,7, os testes de esfericidade de Bartlett e da Medida de Adequação da Amostra (MSA) de Kaiser-Meyer-Olkin foram realizados, onde obteve-se: No teste de esfericidade de Bartlett,  $p\text{-value} \approx 0$ , mostrando que a matriz de correlação difere significativamente da matriz identidade. Já o índice da Medida de Adequação da Amostra foi de 0,82, o que indica a Análise Fatorial adequada ao conjunto de dados.

Realizando a Análise Fatorial obteve-se 14 fatores que explicam 77,7% da variância do conjunto de dados original. O número de fatores foi escolhido pelo critério de Kaiser. Analisando-se as comunalidades, 26 variáveis foram eliminadas com comuna-

lidades abaixo de 0,7.

Aplicando pela segunda vez os testes para a Análise Fatorial, na nova matriz (574 quilômetros  $\times$  54 variáveis), resultando: No teste de esfericidade de Bartlett,  $p$ -value  $\approx 0$ , mostrando a existência de correlação entre as variáveis. Para a Medida de Adequação da Amostra obteve-se:  $MSA = 0,92$ , indicando a Análise Fatorial adequada ao conjunto de dados.

Aplicando a Análise Fatorial pela segunda vez, usando o método das componentes principais e o critério de rotação varimax, obteve-se 9 fatores (critério de Kaiser) que explicam 87,90% da variância total do conjunto de dados, lembrando que nesta segunda análise foram consideradas 54 variáveis. Para a interpretação, todas as variáveis foram incluídas no modelo, com comunalidades acima de 0,5. Os fatores de 1 a 9 são descritos em detalhes abaixo e podem ser encontrados na tabela 9.

**Fator 1:** condutor (Variância explicada: 48,34%)

1. sentido da via\_crescente (Comunalidade: 0,91; Peso: 0,92);
2. sentido da via\_decrescente (Comunalidade: 0,88; Peso: 0,84);
3. tipo de acidente\_colisão transversal (Comunalidade: 0,74; Peso: 0,79);
4. tipo de acidente\_colisão traseira (Comunalidade: 0,88; Peso: 0,88);
5. tipo de acidente\_colisão lateral (Comunalidade: 0,76; Peso: 0,79);
6. causa do acidente\_falta de atenção (Comunalidade: 0,95; Peso: 0,96);
7. causa do acidente\_não guardar distância de segurança (Comunalidade: 0,77; Peso: 0,72);
8. condição pista\_seca (Comunalidade: 0,97; Peso: 0,95);
9. condição pista\_molhada (Comunalidade: 0,82; Peso: 0,64);
10. restrição visibilidade\_inexistente (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,95);

11. sinalização\_(vertical, horizontal) (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,94);
12. sinalização\_vertical (Comunalidade: 0,77; Peso: 0,62);
13. fase do dia\_plena noite (Comunalidade: 0,82; Peso: 0,76);
14. fase do dia\_pleno dia (Comunalidade: 0,94; Peso: 0,93);
15. condição meteorológica\_céu claro (Comunalidade: 0,91; Peso: 0,91);
16. condição meteorológica\_sol (Comunalidade: 0,70; Peso: 0,80);
17. condição meteorológica\_chuva (Comunalidade: 0,72; Peso: 0,59);
18. condição meteorológica\_nublado (Comunalidade: 0,84; Peso: 0,80);
19. sinalização luminosa\_inexistente (Comunalidade: 0,94; Peso: 0,77);
20. sinalização luminosa\_funciona (Comunalidade: 0,83; Peso: 0,74);
21. acostamento\_não (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,94);
22. desnível acostamento\_não (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,95);
23. canteiro\_sim (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,70);
24. canteiro\_não (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,81);
25. obstáculo ao cruzamento\_meio-fio (Comunalidade: 0,84; Peso: 0,82);
26. pista\_simples (Comunalidade: 0,93; Peso: 0,69);
27. pista\_dupla (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,66);
28. perfil pista\_em nível (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,91);
29. perfil pista\_rampa < 3% (Comunalidade: 0,80; Peso: 0,57);
30. traçado pista\_reta (Comunalidade: 0,92; Peso: 0,82);
31. curva vertical pista\_não (Comunalidade: 0,98; Peso: 0,93);

- 32. superelevação pista\_não (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,94);
- 33. superlargura pista\_não (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,94);
- 34. estreitamento pista\_não existe (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,93);
- 35. conservação pista\_bom (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,92).

**Fator 2:** Imprudência do motorista (Variância explicada: 9,29%)

- 1. causa do acidente\_velocidade incompatível (Comunalidade: 0,78; Peso: 0,84);
- 2. obstáculo ao cruzamento\_muro (Comunalidade: 0,70; Peso: 0,81);
- 3. perfil pista\_rampa  $\geq 3\%$  (Comunalidade: 0,71; Peso: 0,52);
- 4. traçado pista\_curva (Comunalidade: 0,80; Peso: 0,81);
- 5. tipo de acidente\_colisão com objeto fixo (Comunalidade: 0,69; Peso: 0,72).

**Fator 3:** Pista com antiofuscante (Variância explicada: 4,88%)

- 1. obstáculo ao cruzamento\_tela (Comunalidade: 0,94; Peso: 0,94);
- 2. obstáculo ao cruzamento\_com antiofuscante (Comunalidade: 0,92; Peso: 0,94).

**Fator 4:** Acostamento pavimentado em desnível (Variância explicada: 6,99%)

- 1. acostamento pavimentado\_sim (Comunalidade: 0,95; Peso: 0,68);
- 2. desnível acostamento\_sim (Comunalidade: 0,73; Peso: 0,75);
- 3. conservação acostamento\_bom (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,66);
- 4. acostamento\_sim (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,66).

**Fator 5:** Pista com sarjeta (Variância explicada: 4,20%)

obstáculo ao cruzamento\_sarjeta (Comunalidade: 0,78; Peso: -0,76).

**Fator 6:** Pista sinalizada (Variância explicada: 3,56%)

1. sinalização\_vertical, horizontal, manual (Comunalidade: 0,91; Peso: 0,93);
2. estreitamento pista\_provisão (Comunalidade: 0,89; Peso: 0,93).

**Fator 7:** Pista mal conservada (Variância explicada: 3,50%)

conservação pista\_com erosão (Comunalidade: 0,83; Peso: 0,78).

**Fator 8:** Restrição de visibilidade (Variância explicada: 3,54%)

1. condição meteorológica\_nevoeiro/neblina (Comunalidade: 0,86; Peso: 0,90);
2. restrição visibilidade\_poeira/fumaça/ neblina (Comunalidade: 0,88; Peso: 0,91).

**Fator 9:** Animais na pista (Variância explicada: 3,61%)

1. tipo de acidente\_atropelamento de animal (Comunalidade: 0,93; Peso: 0,96);
2. causa do acidente\_animais na pista (Comunalidade: 0,91; Peso: 0,92).

A tabela 8 mostra o *ranking* dos piores quilômetros de acordo com cada fator. Nesta tabela observa-se que o primeiro fator (condutor), aparecem os quilômetros 584, 726 e 1, como sendo os piores com relação ao número acidentes com as características das variáveis agrupadas neste fator. Para os demais fatores os quilômetros que aparecem são os piores de acordo com as variáveis agrupadas em cada fator.

TABELA 8: *Ranking* dos quilômetros de acordo com cada fator

Fatores	1ª Posição	2ª Posição	3ª Posição
Fator 1	584	726	1
Fator 2	37	36	38
Fator 3	80	82	81
Fator 4	721	593	587
Fator 5	584	593	592
Fator 6	66	65	334
Fator 7	1	7	3
Fator 8	133	134	653
Fator 9	513	121	599

FONTE: O autor (2010)



O gráfico relacionando os dois primeiros fatores pode ser observado na figura 19. Este gráfico mostra o peso das variáveis agrupadas nos fatores 1 (vermelha), 2 (azul) e em outros fatores (verde).

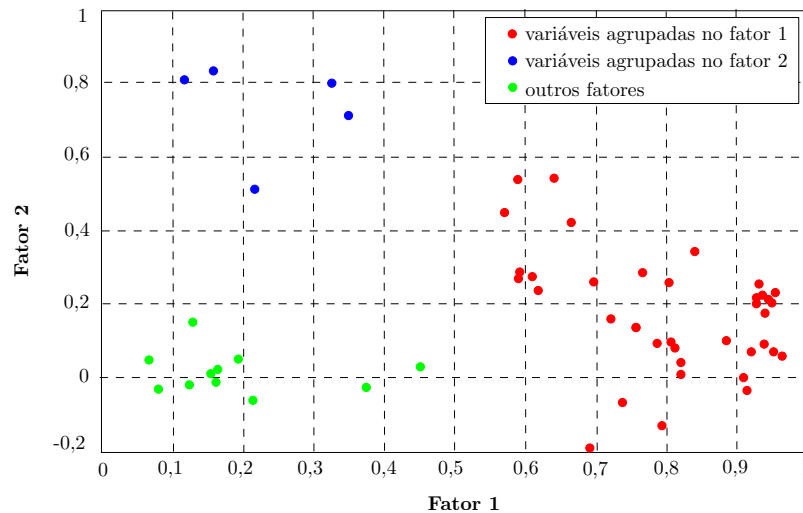


FIGURA 19: Relação entre os dois primeiros fatores

FONTE: O autor (2010)

O gráfico da figura 20 mostra a dispersão dos escores fatoriais dos dois primeiros fatores, sendo que os números indicam o quilômetro da rodovia. Os quilômetros mais afastados da origem são os mais perigosos de acordo com cada fator.

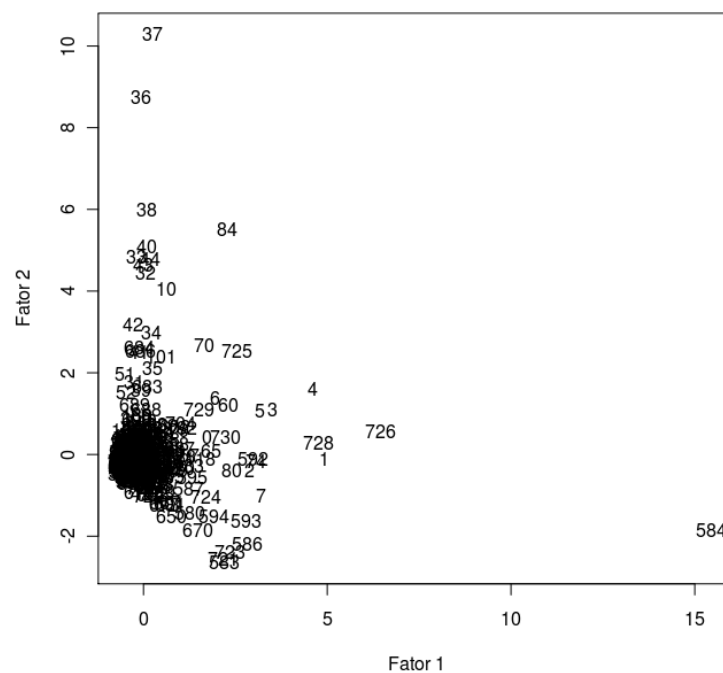


FIGURA 20: Dispersão dos escores fatoriais: fator 1  $\times$  fator 2

FONTE: O autor (2010)

TABELA 9: Resultados da Análise Fatorial (2009): pesos e comunalidades

Variáveis	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	Com.
sentido da via_crescente	<b>0,92</b>	0,07	0,08	0,17	-0,05	0,05	0,12	0,06	0,04	0,91
sentido da via_decrescente	<b>0,84</b>	0,35	0,04	0,22	-0,01	0,06	0,01	0,09	0,05	0,88
tipo de acidente_colisão transversal	<b>0,79</b>	-0,13	-0,19	0,21	-0,05	0,03	0,08	0,05	-0,05	0,74
tipo de acidente_colisão com objeto fixo	0,35	<b>0,72</b>	0,08	0,00	-0,07	0,21	0,02	-0,01	0,01	0,69
tipo de acidente_colisão traseira	<b>0,88</b>	0,10	0,20	0,06	0,12	-0,02	-0,15	0,10	0,05	0,88
tipo de acidente_colisão lateral	<b>0,79</b>	0,09	0,00	-0,01	0,04	0,00	0,35	0,05	-0,04	0,76
tipo de acidente_atropelamento de animal	0,08	-0,03	0,02	0,05	-0,03	-0,01	0,02	-0,01	<b>0,96</b>	0,93
causa do acidente_falta de atenção	<b>0,96</b>	0,06	-0,01	0,09	0,01	0,00	0,10	0,05	0,01	0,95
causa do acidente_*	<b>0,72</b>	0,16	0,37	0,07	0,22	-0,01	-0,15	0,06	0,09	0,77
causa do acidente_velocidade incompatível	0,16	<b>0,84</b>	0,10	0,14	-0,11	0,03	0,03	0,06	-0,01	0,78
causa do acidente_animaís na pista	0,13	-0,02	0,21	0,09	-0,02	-0,03	0,02	-0,02	<b>0,92</b>	0,91
condição pista_seca	<b>0,95</b>	0,07	0,09	0,21	-0,04	0,05	0,00	0,02	0,07	0,97
condição pista_molhada	<b>0,64</b>	0,55	0,02	0,14	0,00	0,03	0,23	0,22	-0,01	0,82
restrição visibilidade_inexistente	<b>0,95</b>	0,21	0,08	0,19	-0,03	0,06	0,08	0,01	0,06	0,99
restrição visibilidade_poeira/fumaça/neblina	0,13	0,16	-0,02	0,12	-0,01	0,01	-0,02	<b>0,91</b>	-0,01	0,88
sinalização_vertical, horizontal	<b>0,94</b>	0,19	0,07	0,24	-0,04	0,01	-0,05	0,09	0,03	0,99
sinalização_vertical, horizontal, manual	0,16	-0,01	0,05	0,02	0,04	<b>0,93</b>	-0,04	0,04	-0,05	0,91
sinalização_vertical	<b>0,62</b>	0,24	0,04	0,09	-0,02	0,07	0,56	-0,03	0,06	0,77
fase do dia_plena noite	<b>0,76</b>	0,14	0,07	0,37	-0,15	0,11	0,19	0,06	0,13	0,82
fase do dia_pleno dia	<b>0,93</b>	0,26	0,05	0,08	0,05	0,04	-0,01	0,07	0,00	0,94
condição meteorológica_céu claro	<b>0,91</b>	0,00	-0,03	0,27	-0,03	0,09	-0,08	0,01	0,04	0,91
condição meteorológica_sol	<b>0,80</b>	0,10	0,07	0,09	-0,14	-0,04	0,06	0,01	-0,01	0,70

continua

Variáveis	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	Com.
condição meteorológica_chuva	<b>0,59</b>	0,54	-0,04	0,15	-0,03	0,02	0,22	0,09	0,00	0,72
condição meteorológica_nublado	<b>0,80</b>	0,26	0,29	0,05	0,03	0,05	0,16	-0,01	0,12	0,84
condição meteorológica_nevoeiro/neblina	0,19	0,05	-0,04	0,07	0,03	0,11	-0,04	<b>0,90</b>	-0,02	0,86
signalização luminosa_inexistente	<b>0,77</b>	0,29	0,08	0,37	-0,16	0,05	0,31	0,05	0,06	0,94
signalização luminosa_funciona	<b>0,74</b>	-0,06	0,01	-0,23	0,23	0,05	-0,41	0,09	-0,01	0,83
acostamento_sim	0,61	0,28	0,19	<b>0,66</b>	-0,12	0,04	0,07	0,08	0,11	0,96
acostamento_não	<b>0,94</b>	0,09	-0,06	-0,24	0,05	0,05	0,05	0,05	-0,02	0,96
desnível acostamento_não	<b>0,95</b>	0,23	0,08	0,09	-0,03	0,07	0,08	0,06	0,04	0,99
desnível acostamento_sim	0,37	-0,02	-0,04	<b>0,75</b>	-0,02	-0,03	-0,04	0,14	0,08	0,73
acostamento pavimentado_sim	0,59	0,27	0,16	<b>0,68</b>	-0,14	0,05	0,00	0,08	0,08	0,95
conservação acostamento_bom	0,59	0,29	0,20	<b>0,66</b>	-0,15	0,05	-0,01	0,10	0,10	0,96
canteiro_não	<b>0,81</b>	0,09	-0,12	0,21	0,48	0,07	0,08	0,09	0,01	0,96
canteiro_sim	<b>0,70</b>	0,26	0,24	0,12	-0,58	0,02	0,03	0,03	0,07	0,96
obstáculo ao cruzamento_sarjeta	0,22	-0,06	-0,10	0,37	<b>-0,76</b>	-0,01	-0,09	0,03	0,05	0,78
obstáculo ao cruzamento_muro	0,12	<b>0,81</b>	0,10	0,09	0,01	-0,03	0,04	0,08	0,01	0,70
obstáculo ao cruzamento_tela	0,17	0,03	<b>0,94</b>	0,07	-0,05	0,09	0,01	-0,03	0,11	0,94
obstáculo ao cruzamento_com antiofuscante	0,16	0,01	<b>0,94</b>	0,06	-0,03	0,06	0,01	-0,02	0,09	0,92
obstáculo ao cruzamento_meio-fio	<b>0,82</b>	0,04	-0,14	-0,22	-0,30	-0,04	0,08	0,00	-0,03	0,84
pista_simples	<b>0,69</b>	-0,19	-0,16	0,24	0,56	0,08	-0,02	0,13	0,00	0,93
pista_dupla	<b>0,66</b>	0,42	0,21	0,12	-0,51	0,01	0,15	-0,01	0,07	0,96
perfil pista_em nível	<b>0,91</b>	-0,03	0,16	0,04	-0,19	0,07	0,22	0,04	0,08	0,96
perfil pista_rampa ≥ 3%	0,22	<b>0,52</b>	-0,13	0,51	0,28	-0,04	-0,07	0,18	-0,01	0,71
perfil pista_rampa < 3%	<b>0,57</b>	0,45	-0,14	0,25	0,24	-0,03	-0,36	0,06	-0,06	0,80
traçado pista_reta	<b>0,82</b>	0,01	0,24	0,34	-0,04	0,13	0,20	0,04	0,14	0,92

continuação

Variáveis	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	Com.
traçado pista_curva	0,33	<b>0,81</b>	-0,12	0,08	-0,05	-0,05	-0,01	0,08	-0,08	0,80
curva vertical pista_não	<b>0,93</b>	0,20	0,09	0,22	-0,08	0,06	0,10	0,08	0,05	0,98
superelevação pista_não	<b>0,94</b>	0,21	0,07	0,20	-0,03	0,06	0,07	0,08	0,05	0,99
superlarga pista_não	<b>0,94</b>	0,21	0,07	0,21	-0,03	0,05	0,08	0,08	0,05	0,99
estreitamento pista_não existe	<b>0,93</b>	0,22	0,07	0,23	-0,05	-0,03	0,08	0,07	0,06	0,99
estreitamento pista_provisão	0,07	0,05	0,09	0,02	-0,02	<b>0,93</b>	0,05	0,06	0,00	0,89
conservação pista_bom	<b>0,92</b>	0,22	0,08	0,24	-0,05	0,06	-0,09	0,10	0,04	0,99
conservação pista_com erosão	0,45	0,03	-0,01	-0,06	0,09	-0,01	<b>0,78</b>	-0,07	0,05	0,83
Variância Explicada	26,103	5,019	2,633	3,775	2,267	1,924	1,889	1,912	1,948	
Proporção da Variância Explicada (%)	48,34	9,29	4,88	6,99	4,20	3,56	3,50	3,54	3,61	
Variância Explicada Acumulada (%)	48,34	57,63	62,51	69,50	73,70	77,26	80,76	84,30	87,91	

Nota: \* não guardar distância de segurança

FONTE: O autor (2010)

#### 4.2.1 Discussão da Análise Fatorial em 2009

Analogamente ao que foi realizado na Análise Fatorial anterior, cada fator será analisado separadamente, juntamente com os escores fatoriais.

- O fator condutor agrupa variáveis, tais como, os três tipos de colisão, ligado a falta de atenção dos motoristas e também o fato de não guardarem a distância de segurança. Pode-se ainda perceber que as condições meteorológicas estão quase todas presentes nesse fator, o mesmo ocorre quanto as condições de pista e o tipo de pista, entre outras. Esse fator explica 48,34% da variância do conjunto de dados e as comunalidades das variáveis estão acima de 0,7. Analisando os escores fatoriais desse fator e selecionando apenas os três primeiros, consegue-se identificar os quilômetros km 584 (Cascavel - PR), km 726 (Foz do Iguaçu - PR) e km 1 (Paranaguá - PR) que estão intimamente ligados com as características desse fator.
- No fator imprudência do motorista observa-se a junção das variáveis velocidade incompatível com pista inclinada, curva e também obstáculo ao cruzamento com muro. Esse fator explica 9,29% da variância do conjunto de dados e as variáveis possuem comunalidades acima de 0,69. Pelos escores fatoriais, consegue-se identificar os três quilômetros onde ocorrem acidentes com essa característica: km 37, km 36 e km 38 (entre Paranaguá - PR e Curitiba - PR).
- No fator pista com antiofuscante encontra-se as variáveis relacionadas com obstáculos ao cruzamento, tais como tela e antiofuscante, explicando 4,88% da variância dos dados analisados. As variáveis desse fator possuem comunalidades acima de 0,9, ou sejam são bem explicadas pelo modelo. Acidentes com essas características se concentram principalmente nos quilômetros km 80, km 82 e km 81 (Curitiba - PR).
- O fator acostamento pavimentado em desnível agrupa quatro variáveis referentes ao acostamento: existência de acostamento pavimentado, conservado e em

desnível. Esse fator explica 6,99% da variância dos dados e as variáveis têm comunalidades acima de 0,7. Os acidentes que ocorrem na rodovia com essa característica estão concentrados principalmente nos quilômetros km 721 (Foz do Iguaçu - PR), km 593 e km 587 (próximo a Cascavel - PR).

- No quinto fator tem-se uma única variável que se destaca: obstáculo ao cruzamento com sarjeta, que são valas geralmente localizadas ao longo das vias pavimentadas, para onde escoam as águas da chuva. Este fator pode ser denominado como sarjeta, explicando 4,20% da variância do conjunto de dados. Acidentes com este perfil ocorrem principalmente nos quilômetros km 584, km 593 e km 592 (próximo a Cascavel).
- O fator pista sinalizada agrupa todos os tipos de sinalização, junto com estreitamento de pista em pontos de encontro com outras rodovias, ruas, trevos entre outros. Esse fator explica 3,56% da variância dos dados e as comunalidades estão acima de 0,89. Nesse fator os escores fatoriais apontam os quilômetros km 66, km 65 (entre Paranaguá - PR e Curitiba - PR) e km 334 (próximo a Guapuva - PR) como sendo os de maior peso para acidentes nessa rodovia.
- O fator pista mal conservada tem a variável pista com erosão, explicando 3,50% da variância dos dados. Pelos escores fatoriais observa-se que, bem no início da rodovia, nos quilômetros km 1, km 7 e km 3 (Paranaguá - PR) ocorrem acidentes devido a essa característica da pista.
- O fator restrição de visibilidade envolve acidentes ligados às condições meteorológicas (nevoeiro e neblina) e restrição de visibilidade (fumaça, poeira e neblina). A variância explicada por este fator é de 3,54% e as variáveis possuem comunalidades altas, acima de 0,85. Acidentes com esse perfil ocorrem principalmente nos quilômetros km 133, km 134 (Próximo a Curitiba - PR) e km 653 (entre Cascavel - PR e Foz do Iguaçu - PR).
- Finalmente o fator animais na pista está ligado à acidentes com atropelamento de animais, explicando 3,61% da variância do conjunto de dados. As variáveis

desse fator tem comunalidades acima de 0,9, ou seja, são bem explicadas pelo modelo. Pode-se identificar os quilômetros km 513 (Guaraniaçu - PR), km 121 (próximo a Curitiba - PR) e km 599 (próximo a Cascavel - PR) ligados a esse fator.

#### 4.2.2 *Ranking* dos quilômetros mais perigosos em 2009

Calculando-se os escores fatoriais finais ponderados, por meio dos nove fatores obtidos, e criando uma escala entre 0 e 10, encontra-se os quilômetros mais problemáticos de acordo com o número de acidentes registrados.

TABELA 10: Escores fatoriais finais ponderados em ordem decrescente

Quilômetro	Local	Escore
584	Cascavel	10,0
1	Paranaguá	4,1
726	Foz do Iguaçu	4,1
4	Paranaguá	3,6
3	Paranaguá	3,6
593	Cascavel	3,2
728	Foz do Iguaçu	3,1
592	Cascavel	2,8
7	próx. Paranaguá	2,7
5	próx. Paranaguá	2,7
⋮	⋮	⋮
20	próx. Paranaguá	0,0
712	próx. Santa Terezinha de Itaipu	0,0
716	próx. Santa Terezinha de Itaipu	0,0

FONTE: O autor (2010)

A imagem do km 584 pode ser observado na figura 16, nos resultados da primeira Análise Fatorial, o km 1 em Paranaguá pode ser visto na figura 21 e o km 76 na figura 17 também nos resultados da primeira Análise Fatorial.



FIGURA 21: Quilômetro 1 - Paranaguá

FONTE: *Google Earth* (2010), fotografada em 2010

#### 4.3 APLICAÇÃO DA ANÁLISE FATORIAL EM MESES DE FÉRIAS DE 2007 A 2009

Devido ao aumento de veículos nas rodovias em períodos de férias, esta Análise Fatorial utiliza os dados referentes aos meses de janeiro, fevereiro, julho e dezembro, entre 2007 e novembro de 2009, com o objetivo de verificar se os fatores são os mesmos obtidos nas análises anteriores.

Na primeira Análise Fatorial, os testes de esfericidade de Bartlett e da Medida de Adequação da Amostra (MSA) de Kaiser-Meyer-Olkin foram realizados, onde obteve-se:

- No teste de esfericidade de Bartlett,  $p\text{-value} \approx 0$ , mostrando que a matriz de correlação difere significativamente da matriz identidade;
- Para a Medida de Adequação da Amostra  $MSA = 0,73$ , o que indica a Análise Fatorial adequada ao conjunto de dados.

Realizando a Análise Fatorial obteve-se 21 fatores que explicam 78,2% da variân-



cia do conjunto de dados original. O número de fatores foi escolhido pelo critério de Kaiser. Analisando-se as comunalidades, 33 variáveis foram eliminadas com comunalidades abaixo de 0,7.

Aplicando pela segunda vez os testes para a Análise Fatorial, na nova matriz (488 quilômetros  $\times$  59 variáveis), resulta:

- No teste de esfericidade de Bartlett,  $p\text{-value} \approx 0$ , mostrando grande correlação entre as variáveis;
- Para a Medida de Adequação da Amostra,  $MSA = 0,92$ , o que indica a Análise Fatorial adequada ao conjunto de dados.

Nesta Análise Fatorial, usando o método das componentes principais e o critério de rotação varimax, obteve-se 10 fatores (critério de Kaiser) que explicam 83,93% da variância total do conjunto de dados. A variável tipo de acidente\_colisão frontal foi eliminada com comunalidade igual a 0,5. Os fatores de 1 a 10 são descritos em detalhes abaixo:

**Fator 1:** condutor (Variância explicada: 45,12%)

1. sentido da via\_crescente (Comunalidade: 0,91; Peso: 0,94);
2. sentido da via\_decrescente (Comunalidade: 0,87; Peso: 0,78);
3. tipo de acidente\_colisão transversal (Comunalidade: 0,84; Peso: 0,89);
4. tipo de acidente\_colisão traseira (Comunalidade: 0,84; Peso: 0,85);
5. tipo de acidente\_colisão lateral (Comunalidade: 0,70; Peso: 0,79);
6. causa do acidente\_falta de atenção (Comunalidade: 0,93; Peso: 0,96);
7. causa do acidente\_não guardar distância de segurança (Comunalidade: 0,61; Peso: 0,61);

8. causa do acidente\_desobediência à sinalização (Comunalidade: 0,67; Peso: 0,78);
9. condição pista\_seca (Comunalidade: 0,97; Peso: 0,97);
10. restrição visibilidade\_inexistente (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,95);
11. sinalização\_vertical, horizontal (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,95);
12. sinalização\_vertical (Comunalidade: 0,62; Peso: 0,54);
13. fase do dia\_plena noite (Comunalidade: 0,78; Peso: 0,70);
14. fase do dia\_pleno dia (Comunalidade: 0,94; Peso: 0,94);
15. condição meteorológica\_céu claro (Comunalidade: 0,91; Peso: 0,92);
16. condição meteorológica\_sol (Comunalidade: 0,74; Peso: 0,83);
17. condição meteorológica\_nublado (Comunalidade: 0,75; Peso: 0,77);
18. sinalização luminosa\_inexistente (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,86);
19. sinalização luminosa\_funciona (Comunalidade: 0,76; Peso: 0,74);
20. acostamento\_sim (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,68);
21. acostamento\_não (Comunalidade: 0,95; Peso: 0,88);
22. desnível acostamento\_não (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,93);
23. acostamento pavimentado\_sim (Comunalidade: 0,94; Peso: 0,66);
24. conservação acostamento\_bom (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,68);
25. canteiro\_não (Comunalidade: 0,96; Peso: 0,82);
26. obstáculo ao cruzamento\_meio-fio (Comunalidade: 0,83; Peso: 0,77);
27. pista\_simples (Comunalidade: 0,94; Peso: 0,78);

- 28. perfil pista\_em nível (Comunalidade: 0,93; Peso: 0,87);
- 29. perfil pista\_rampa < 3% (Comunalidade: 0,75; Peso: 0,63);
- 30. traçado pista\_reta (Comunalidade: 0,92; Peso: 0,79);
- 31. curva vertical pista\_não (Comunalidade: 0,97; Peso: 0,92);
- 32. superelevação pista\_não (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,95);
- 33. superlargura pista\_não (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,94);
- 34. estreitamento pista\_não existe (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,94);
- 35. conservação pista\_bom (Comunalidade: 0,99; Peso: 0,95).

**Fator 2:** Imprudência do motorista em dias de chuva (Variância explicada: 9,42%)

- 1. tipo de acidente\_colisão com objeto fixo (Comunalidade: 0,71; Peso: 0,67);
- 2. condição pista\_molhada (Comunalidade: 0,79; Peso: 0,65);
- 3. condição meteorológica\_chuva (Comunalidade: 0,73; Peso: 0,62);
- 4. obstáculo ao cruzamento\_muro (Comunalidade: 0,79; Peso: 0,86);
- 5. traçado pista\_curva (Comunalidade: 0,79; Peso: 0,779);
- 6. causa do acidente\_velocidade incompatível (Comunalidade: 0,75; Peso: 0,83);
- 7. perfil pista\_rampa  $\geq$  3% (Comunalidade: 0,57; Peso: 0,48).

**Fator 3:** Pista dupla com canteiro e sarjeta (Variância explicada: 5,89%)

- 1. canteiro\_sim (Comunalidade: 0,97; Peso: 0,68);
- 2. obstáculo ao cruzamento\_sarjeta (Comunalidade: 0,83; Peso: 0,82);
- 3. pista\_dupla (Comunalidade: 0,71; Peso: 0,67);

4. obstáculo ao cruzamento\_não existe (Comunalidade: 0,95; Peso: 0,64).

**Fator 4:** Acostamento em desnível (Variância explicada: 4,36%)

desnível acostamento\_sim (Comunalidade: 0,67; Peso: -0,58);

**Fator 5:** Pista com antiofuscante (Variância explicada: 3,99%)

1. obstáculo ao cruzamento\_tela (Comunalidade: 0,91; Peso: 0,94);
2. obstáculo ao cruzamento\_com antiofuscante (Comunalidade: 0,88; Peso: 0,93).

**Fator 6:** Pista mal conservada (Variância explicada: 4,58%)

1. sinalização\_inexistente (Comunalidade: 0,67; Peso: 0,78);
2. conservação pista\_com erosão (Comunalidade: 0,80; Peso: 0,80);
3. condição pista\_escorregadia (Comunalidade: 0,58; Peso: 0,67).

**Fator 7:** Animais na Pista (Variância explicada: 3,53%)

1. tipo de acidente\_atropelamento de animal (Comunalidade: 0,95; Peso: 0,97);
2. causa do acidente\_animais na pista (Comunalidade: 0,94; Peso: 0,96).

**Fator 8:** Restrição de visibilidade (Variância explicada: 3,20%)

1. restrição visibilidade\_poeira/fumaça/neblina (Comunalidade: 0,85; Peso: 0,86);
2. condição meteorológica\_nevoeiro/neblina (Comunalidade: 0,88; Peso: 0,92);

**Fator 9:** Defeito mecânico em veículo (Variância explicada: 2,10%)

causa do acidente\_defeito mecânico em veículo (Comunalidade: 0,77; Peso: 0,83).

**Fator 10:** Restrição de visibilidade devido a veículos estacionados (Variância explicada: 1,75%)

restrição visibilidade\_veículo estacionado (Comunalidade: 0,84; Peso: 0,91);

O gráfico relacionando os dois primeiros fatores pode ser observado na figura 22. Este gráfico mostra o peso das variáveis agrupadas nos fatores 1 (vermelha), 2(azul) e em outros fatores (verde).

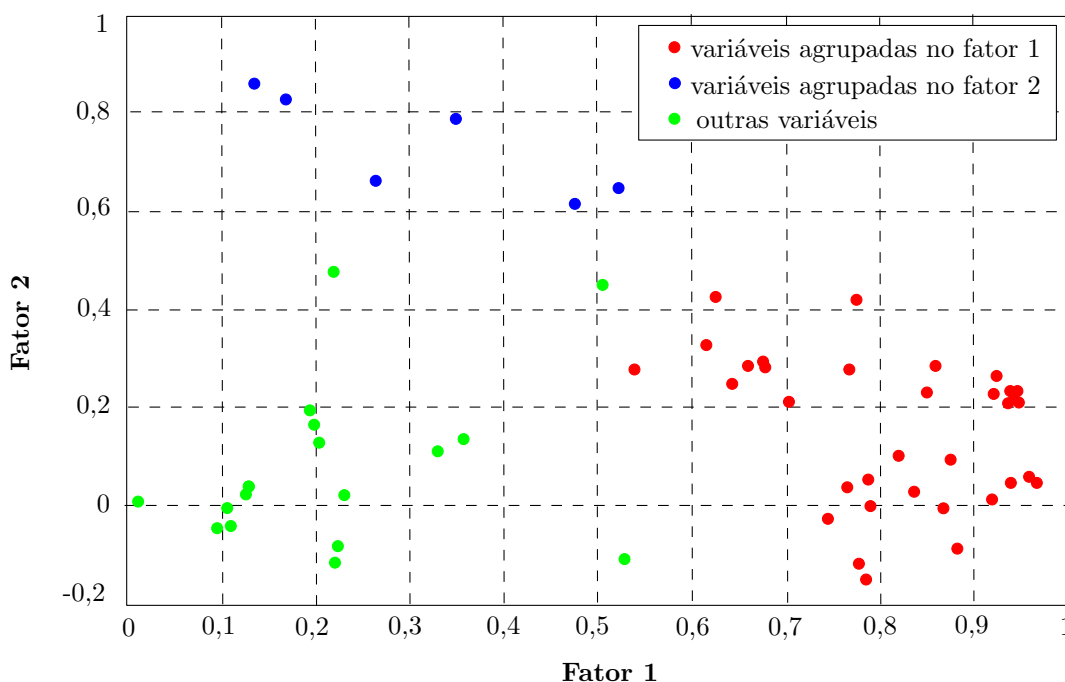


FIGURA 22: relação entre os dois primeiros fatores

FONTE: O autor (2010)

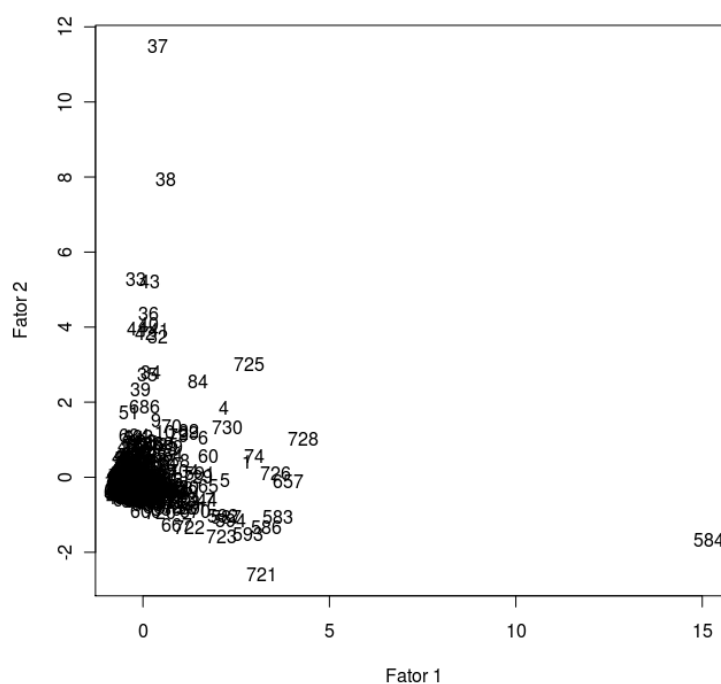
A tabela 11 mostra o *ranking* dos piores quilômetros de acordo com cada fator. Nesta tabela observa-se que o primeiro fator (condutor), aparecem os quilômetros 584, 728 e 657, como sendo os piores com relação ao número acidentes com as características das variáveis agrupadas neste fator. Para os demais fatores os quilômetros que aparecem são os piores de acordo com as variáveis agrupadas em cada fator.

TABELA 11: *Ranking* dos quilômetros de acordo com cada fator

Fatores	1ª Posição	2ª Posição	3ª Posição
1	584	728	657
2	37	38	33
3	721	723	725
4	584	728	60
5	80	82	79
6	7	4	1
7	702	583	710
8	42	312	649
9	464	74	60
10	727	347	701

FONTE: O autor (2010)

O gráfico da figura 23 mostra a dispersão dos escores fatoriais dos dois primeiros fatores, onde os números indicam o quilômetro da rodovia. Neste gráfico os quilômetros mais distantes da origem representam os quilômetros mais perigosos de acordo com cada fator. Todos os dados referentes a Análise Fatorial podem ser encontrados na tabela 12.

FIGURA 23: Dispersão dos escores fatoriais: Fator 1  $\times$  Fator 2.

FONTE: O autor (2010)

TABELA 12: Resultados da Análise Fatorial (meses de férias): pesos e comunalidades

Variáveis	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	Com.
sentido da via_crescente	<b>0,94</b>	0,05	0,08	-0,03	0,01	0,09	0,05	0,09	0,07	0,00	0,91
sentido da via_decrescente	<b>0,78</b>	0,42	0,17	-0,18	0,10	0,13	0,03	0,01	0,01	0,01	0,87
tipo de acidente_colisão transversal	<b>0,89</b>	-0,08	-0,07	-0,06	-0,12	-0,04	0,01	0,06	-0,15	0,04	0,84
tipo de acidente_colisão com objeto fixo	0,26	<b>0,67</b>	0,14	0,15	0,18	0,08	-0,05	0,02	0,33	-0,01	0,71
tipo de acidente_colisão traseira	<b>0,85</b>	0,23	-0,07	0,00	0,21	-0,06	0,02	0,07	0,05	-0,04	0,84
tipo de acidente_colisão lateral	<b>0,79</b>	0,05	0,01	0,07	0,00	0,26	-0,01	-0,02	-0,06	-0,06	0,70
tipo de acidente_colisão frontal	0,23	-0,08	0,04	-0,40	-0,04	0,38	-0,07	0,11	-0,12	0,32	0,50
tipo de acidente_atropelamento de animal	0,11	-0,05	0,07	-0,03	0,02	0,03	<b>0,97</b>	0,01	0,00	0,02	0,95
causa do acidente_falta de atenção	<b>0,96</b>	0,06	0,03	-0,04	-0,05	0,01	0,01	0,02	-0,06	0,00	0,93
causa do acidente_defeito mecânico em veículo	0,20	0,13	0,11	-0,09	0,02	-0,01	0,01	0,09	<b>0,83</b>	0,05	0,77
causa do acidente_*	<b>0,61</b>	0,33	-0,11	-0,06	0,28	-0,11	-0,02	0,11	-0,05	-0,02	0,61
causa do acidente_velocidade incompatível	0,17	<b>0,83</b>	0,09	-0,04	0,04	0,13	-0,03	0,03	0,05	0,01	0,75
causa do acidente_desobediência à sinalização	<b>0,78</b>	-0,12	-0,06	0,01	-0,02	0,12	-0,07	0,06	-0,13	0,06	0,67
causa do acidente_animaís na pista	0,09	-0,05	0,05	-0,05	0,02	-0,03	<b>0,96</b>	0,04	0,01	0,03	0,94
condição pista_seca	<b>0,97</b>	0,05	0,11	-0,08	0,05	0,03	0,06	0,05	0,08	0,03	0,97
condição pista_molhada	0,52	<b>0,65</b>	0,10	-0,18	0,03	0,20	-0,01	0,10	-0,06	-0,07	0,79
condição pista_escorregadia	0,20	0,16	0,21	0,02	-0,07	<b>0,67</b>	0,02	0,04	0,09	-0,11	0,58
restrição visibilidade_inexistente	<b>0,95</b>	0,22	0,14	-0,11	0,05	0,11	0,05	0,03	0,05	-0,01	0,99
restrição visibilidade_poeira/fumaça/neblina	0,19	0,20	-0,04	-0,12	-0,01	-0,06	0,04	<b>0,86</b>	0,08	-0,03	0,85
restrição visibilidade_veículo estacionado	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	-0,03	0,06	-0,04	0,04	<b>0,91</b>	0,84
sinalização_vertical, horizontal	<b>0,95</b>	0,21	0,14	-0,11	0,05	0,01	0,04	0,08	0,04	0,00	0,99
sinalização_vertical	<b>0,54</b>	0,28	0,02	-0,15	0,01	0,43	0,13	-0,07	0,16	-0,02	0,62

continua

Variáveis	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	Com.
sinalização_inexistente	0,23	0,02	0,08	0,02	0,00	<b>0,78</b>	0,01	-0,03	-0,08	-0,02	0,67
fase do dia_plena noite	<b>0,70</b>	0,21	0,35	-0,16	0,16	0,19	0,14	0,10	-0,01	0,06	0,78
fase do dia_pleno dia	<b>0,94</b>	0,21	-0,01	-0,04	0,00	0,07	-0,04	0,02	0,07	-0,03	0,94
condição meteorológica_céu claro	<b>0,92</b>	0,01	0,19	-0,13	-0,01	0,00	0,05	0,06	0,04	0,05	0,91
condição meteorológica_sol	<b>0,83</b>	0,03	-0,03	0,00	0,04	0,08	-0,01	-0,05	0,17	0,02	0,74
condição meteorológica_chuva	0,48	<b>0,62</b>	0,16	-0,18	-0,03	0,21	0,00	0,02	-0,08	-0,07	0,73
condição meteorológica_nublado	<b>0,77</b>	0,28	0,03	0,01	0,20	0,18	0,06	-0,05	0,06	-0,04	0,75
condição meteorológica_nevoeiro/neblina	0,13	0,03	0,04	0,01	0,06	0,00	0,02	<b>0,92</b>	0,01	-0,01	0,88
sinalização luminosa_inexistente	<b>0,86</b>	0,29	0,19	-0,24	0,06	0,17	0,08	0,09	0,01	0,02	0,96
sinalização luminosa_funciona	<b>0,74</b>	-0,03	-0,13	0,40	0,01	-0,05	-0,06	-0,02	0,15	-0,03	0,76
acostamento_sim	<b>0,68</b>	0,28	0,27	-0,54	0,13	0,01	0,13	0,08	0,12	-0,02	0,96
acostamento_não	<b>0,88</b>	0,09	-0,06	0,37	-0,04	0,18	-0,06	0,02	-0,04	0,02	0,95
desnível acostamento_não	<b>0,93</b>	0,27	0,15	-0,01	0,07	0,15	0,03	0,05	0,05	0,02	0,99
desnível acostamento_sim	0,53	-0,11	-0,08	<b>-0,58</b>	-0,08	-0,13	0,07	0,07	0,00	-0,08	0,67
acostamento pavimentado_sim	<b>0,66</b>	0,29	0,30	-0,53	0,14	-0,01	0,12	0,06	0,12	-0,03	0,94
conservação acostamento_bom	<b>0,68</b>	0,29	0,28	-0,53	0,13	-0,04	0,13	0,08	0,12	-0,02	0,96
canteiro_não	<b>0,82</b>	0,10	-0,45	-0,19	-0,09	0,13	0,02	0,10	0,10	-0,03	0,96
canteiro_sim	0,64	0,25	<b>0,68</b>	0,03	0,18	0,05	0,05	-0,01	-0,03	0,04	0,97
obstáculo ao cruzamento_sarjeta	0,22	-0,11	<b>0,82</b>	-0,21	-0,09	0,05	0,10	0,06	0,15	0,03	0,83
obstáculo ao cruzamento_muro	0,13	<b>0,86</b>	0,01	0,01	0,02	0,04	-0,03	0,12	0,11	-0,01	0,79
obstáculo ao cruzamento_não existe	0,33	0,12	<b>0,64</b>	-0,09	-0,11	0,01	0,14	-0,08	-0,03	-0,08	0,59
obstáculo ao cruzamento_tela	0,13	0,03	0,05	-0,05	<b>0,94</b>	0,02	0,02	-0,01	0,01	0,01	0,91
obstáculo ao cruzamento_com antiofuscante	0,11	-0,01	0,02	0,01	<b>0,93</b>	-0,01	0,02	0,06	0,02	0,00	0,88
obstáculo ao cruzamento_meio-fio	<b>0,77</b>	0,04	0,23	0,31	-0,09	0,04	-0,08	-0,07	-0,25	0,10	0,83

continuação



Variáveis	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	Com.
pista_simples	<b>0,78</b>	-0,15	-0,48	-0,22	-0,15	0,01	0,03	0,09	-0,02	-0,03	0,94
pista_dupla	0,51	0,45	<b>0,64</b>	0,01	0,22	0,16	0,04	0,01	0,05	0,03	0,95
perfil pista_em nível	<b>0,87</b>	0,00	0,29	0,04	0,16	0,24	0,09	-0,03	-0,01	-0,03	0,93
perfil pista_rampa $\geq$ 3%	0,22	<b>0,48</b>	-0,12	-0,44	-0,14	-0,10	-0,02	0,22	0,09	0,02	0,57
perfil pista_rampa $<$ 3%	<b>0,63</b>	0,42	-0,21	-0,16	-0,15	-0,18	-0,09	0,13	0,13	0,07	0,75
traçado pista_reta	<b>0,79</b>	0,00	0,20	-0,30	0,18	0,24	0,12	0,07	0,22	-0,04	0,92
traçado pista_curva	0,35	<b>0,79</b>	0,01	-0,05	-0,11	-0,08	-0,08	0,05	-0,10	0,04	0,79
curva vertical pista_não	<b>0,92</b>	0,23	0,20	-0,09	0,08	0,12	0,06	0,04	0,05	0,01	0,97
superelevação pista_não	<b>0,95</b>	0,23	0,13	-0,11	0,05	0,12	0,04	0,06	0,05	0,00	0,99
superlargura pista_não	<b>0,94</b>	0,23	0,14	-0,13	0,06	0,12	0,05	0,07	0,03	0,00	0,99
estreitamento pista_não existe	<b>0,94</b>	0,23	0,13	-0,13	0,05	0,11	0,05	0,07	0,05	0,00	0,99
conservação pista_bom	<b>0,95</b>	0,22	0,15	-0,12	0,05	-0,03	0,05	0,08	0,06	0,00	0,99
conservação pista_com erosão	0,35	0,14	-0,05	0,06	0,05	<b>0,80</b>	-0,03	-0,08	0,01	0,03	0,80
Variância Explicada	26,621	5,557	3,475	2,573	2,356	2,704	2,084	1,888	1,236	1,030	
Proporção da Variância Explicada (%)	45,12	9,42	5,89	4,36	3,99	4,58	3,53	3,20	2,10	1,75	
Variância Explicada Acumulada (%)	45,12	54,54	60,43	64,79	68,78	73,37	76,90	80,10	82,19	83,94	

Nota: \* não guardar distância de segurança

FONTE: O autor (2010)

#### 4.3.1 Discussão da Análise Fatorial em meses de férias

Assim como realizado anteriormente, nesta subseção serão discutidos os fatores da Análise Fatorial em meses de férias e também os respectivos escores fatoriais.

- O fator condutor agrupa variáveis tais como os três tipos de colisão (transversal, traseira e lateral), ligado a falta de atenção dos motoristas, desobediência à sinalização e também o fato de não guardarem a distância de segurança. Pode-se ainda perceber que as condições meteorológicas estão quase todas presentes nesse fator, exceto chuva e os acidentes ocorrem em pista seca. Quanto a estrutura da pista observa-se as variáveis pista dupla em nível ou inclinada, com traçado reto, e sem superelevação, superlargura, estreitamento, canteiro ou acostamento. Esse fator é mais significativo, pois explica 45,12% da variância do conjunto de dados e as comunalidades das variáveis estão acima de 0,6. Analisando os escores fatoriais desse fator e selecionando apenas os três primeiros (mais expressivos), consegue-se identificar os quilômetros km 584 (Cascavel - PR), km 728 (Foz do Iguaçu - PR) e km 657 (próximo a Medianeira - PR) que estão intimamente ligados com as características desse fator.
- No fator imprudência do motorista em dias de chuva observa-se a junção das variáveis velocidade incompatível com pista curva, pista molhada e com chuva, além de colisão com objeto fixo e também obstáculo ao cruzamento com muro. Esse fator explica 9,42% da variância do conjunto de dados e as variáveis tem comunalidades acima de 0,7. Pelos escores fatoriais, consegue-se identificar os três quilômetros onde ocorrem acidentes com essa característica: km 37, km 38 e km 33 (entre Paranaguá - PR e Curitiba - PR), o que indica que a maioria dos acidentes com esse perfil ocorrem nesses quilômetros da BR-277.
- O fator pista dupla com canteiro e sarjeta agrupa as variáveis relacionadas a canteiro e obstáculo ao cruzamento com sarjeta (valas geralmente localizadas ao longo das vias pavimentadas, para onde escoam as águas da chuva) e também

pista dupla. Esse fator explica 5,89% da variância dos dados e as variáveis possuem comunalidades acima de 0,7. Acidentes com essas características se concentram principalmente nos quilômetros km 721, km 723 e km 725 (próximo a Foz do Iguaçu - PR).

- No fator acostamento em desnível tem-se uma única variável referente ao acostamento em desnível, explicando 4,36% da variância dos dados. A comunalidade da variável deste fator é 0,67. Os acidentes que ocorrem na rodovia com essa característica estão concentrados principalmente nos quilômetros km 584 (Cascavel - PR), km 728 (Foz do Iguaçu - PR) e km 60 (próximo a Curitiba - PR).
- No fator pista com antiofuscante tem-se duas variáveis que se destacam: obstáculo ao cruzamento com tela e com antiofuscante. Esse fator explica 3,99% da variância do conjunto de dados e as comunalidades das variáveis estão acima de 0,88. Acidentes envolvendo esses tipos de obstáculos ao cruzamento ocorrem principalmente nos quilômetros km 80, km 82 e km 79 (próximo a Curitiba - PR).
- O fator pista mal conservada é composto por duas variáveis que se destacam: pista com erosão, sinalização inexistente e pista escorregadia. Esse fator explica 4,58% da variância do conjunto de dados e a variável pista escorregadia possui a menor comunalidade: 0,58. Pelos escores fatoriais observa-se que, bem no início da rodovia, nos quilômetros km 7, km 4 e km 1 (Paranaguá - PR) ocorrem acidentes devido a essa característica da pista.
- O fator animais na pista reúne as variáveis atropelamento de animais e animais na pista, explicando 3,53% da variância do conjunto de dados. Assim como nas análises anteriores esse fator pode ser denominado como animais na pista. Nesse fator os escores fatoriais apontam os quilômetros km 702, km 710 (entre Medianeira - PR e Foz do Iguaçu - PR) e km 583 (Cascavel - PR) como sendo os de maior ocorrência deste tipo de acidente.
- O fator restrição de visibilidade envolve acidentes ligados às condições meteorológicas (nevoeiro e neblina) e restrição de visibilidade (fumaça, poeira e neblina).

Esse fator explica 3,20% da variância do conjunto de dados. Acidentes com esse perfil ocorrem principalmente nos quilômetros km 42 (entre Paranaguá - PR e Curitiba), km 312 (entre Irati - PR e Guarapuava - PR) e km 649 (próximo a Medianeira - PR).

- O nono fator envolve acidentes devido a defeitos mecânicos em veículos. Esse fator não apareceu nas análises anteriores e pode ser chamado de defeito mecânico em veículos, explicando apenas 2,10% da variância do conjunto de dados. Acidentes com esse perfil ocorrem principalmente nos quilômetros km 74, km 60 (entre Paranaguá - PR e Curitiba) e km 464 (próx. a Nova Laranjeiras).
- O décimo fator está ligado à acidentes devido a restrição de visibilidade causada por veículos estacionados. Sendo assim, esse fator pode ser denominado como restrição de visibilidade devido a veículos estacionados, explicando apenas 1,75% da variância dos dados analisados. Pode-se identificar os quilômetros KM 727 (Guaraniaçu - PR), km 727, km 701 (próximo a Foz do Iguaçu - PR) e km 347 (próximo a Guarapuava - PR) ligados a esse fator.

#### 4.3.2 *Ranking* dos quilômetros mais perigosos em meses de férias

Calculando-se os escores fatoriais finais ponderados, por meio dos 10 fatores obtidos, criando uma escala entre 0 e 10, encontra-se os quilômetros mais problemáticos de acordo com o número de acidentes registrados.

Imagens desses quilômetros podem ser observadas nas figuras 16, 18 e 24. Outras imagens dos piores quilômetros podem ser observadas no anexo D. As matrizes de dados utilizadas nesse trabalho, bem como os fatores e escores fatoriais obtidos, além do mapa rodoviário do Paraná 2010, podem ser encontrados no CD no final da dissertação.

TABELA 13: Escores fatoriais finais ponderados em ordem decrescente

Quilômetro	Local	Escore	Quilômetro	Local	Escore
584	Cascavel	10	726	Foz do Iguaçu	2,7
728	Foz do Iguaçu	3,5	730	Foz do Iguaçu	2,4
74	Curitiba	3,0	725	Foz do Iguaçu	2,4
657	Matelândia	2,8	⋮	⋮	⋮
1	Paranaguá	2,7	112	próx. Curitiba	0,0
583	Cascavel	2,7	574	próx. Cascavel	0,0
4	Paranaguá	2,7	385	próx. Guarapuava	0,0

FONTE: O autor (2010)

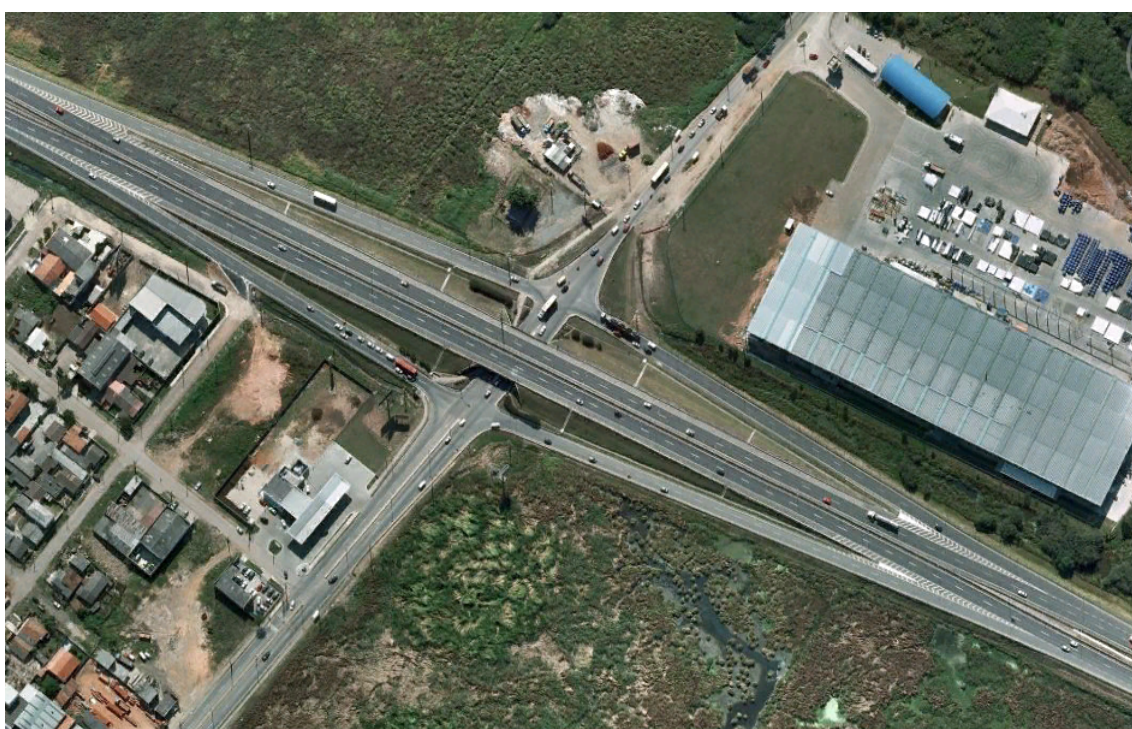


FIGURA 24: Quilômetro 74 - Curitiba. BR-277: canto superior esquerdo ao canto inferior direito

FONTE: *Google Earth* (2010), fotografada em 2009

## 5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A partir das três análises realizadas no capítulo anterior, pode-se verificar que todas as análises realizadas apresentaram resultados semelhantes, ou seja, a maior parte dos fatores foram coincidentes e os piores quilômetros com relação ao número de acidentes também. O fator com maior variabilidade explicada, em todas as análises foi o condutor. Isso mostra que independente do período analisado, os motoristas contribuem muito nos acidentes. Levando em consideração o fator imprudência do motorista, a contribuição dos motoristas nos acidentes aumenta ainda mais. Outros fatores tais como animais na pista, restrições de visibilidade e pista mal conservada influenciam, porém de maneira menos significativa.

Um outro detalhe que pode ser observado é que na Análise Fatorial entre 2007 e 2009, os fatores são mais definidos do que na análise aplicada somente em 2009. Quanto à Análise Fatorial aplicada em meses de férias pode-se observar a ocorrência de dois novos fatores que não apareceram nas análises anteriores: defeito mecânico em veículo e restrição de visibilidade devido a veículos estacionados. Isso se deve ao fato de muitas famílias saírem de viagem sem verificar as condições do automóvel.

De um modo geral todas as análises definem o mesmo perfil, quanto aos fatores, com pequenas diferenças entre uma e outra. Entretanto, cabe ressaltar que o condutor é o maior problema quanto aos acidentes de trânsito na BR-277 no período de janeiro de 2007 a novembro de 2009. Outras condições influenciam, porém de maneira bem menos representativas.

Analisando os escores fatoriais finais ponderados, obtidos em cada análise observa-se que o quilômetro 584 que se encontra no município de Cascavel é o mais problemático com relação aos acidentes, com 336 acidentes entre 2007 e novembro de 2009. Uma possível causa é a grande quantidade de veículos que circula nesse quilôme-

tro, o que se deve ao trevo cataratas localizado nesse quilômetro que faz a junção da BR-277 com a BR-369, BR-467 e a entrada de Cascavel.

Outros quilômetros, tais como o km 726 e km 728 em Foz do Iguaçu, km 74 em Curitiba e km 1 em Paranaguá também aparecem como quilômetros com muitos acidentes, porém com escores menores do que o observado no km 584. Mesmo assim nesses quilômetros foram registrados 473 acidentes entre 2007 e novembro de 2009. Esses quilômetros estão localizados em perímetros urbanos, nesses locais o fluxo de veículos geralmente é intenso, causando uma quantidade maior de acidentes.

Recomenda-se a partir desses resultados, verificar se existem problemas de planejamento nesses pontos e propor mudanças que possam minimizar o número de acidentes. Esses planejamentos podem ser tais como o aumento na sinalização nesses trechos, assim como a modificação da geometria dos trechos em questão. Além disso a Análise Fatorial pode ser aplicada aos dados de outras rodovias, com os mesmos objetivos deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- AETT. **Anuário Estatístico dos Transportes Terrestes**. 2009. [Online; acesso em 09-Dezembro-2010]. Disponível em: <[http://www.antt.gov.br/InformacoesTecnicas/aett/aett\\_2009/principal.asp](http://www.antt.gov.br/InformacoesTecnicas/aett/aett_2009/principal.asp)>.
- AKGÜNGÖR, A. P.; YILDIZ, O. Sensitivity analysis of an accident prediction model by the fractional factorial method. **Accident Analysis and Prevention**, v. 39, p. 63–68, 2007.
- AKISHINO, P. **Algumas Técnicas de Engenharia de Tráfego na Redução e Prevenção dos Acidentes de Trânsito**. Curitiba: Disciplina: Segurança de Trânsito, 1995.
- AMIGO, J. M. *et al.* Comprehensive analysis of chromatographic data by using parafac2 and principal components analysis. **Journal of Chromatography A**, v. 1217, p. 4422–4429, 2010.
- ARMSTRONG, R. A. *et al.* Neuropathological heterogeneity in frontotemporal lobar degeneration with tdp-43 proteinopathy: a quantitative study of 94 cases using principal components analysis. **J Neural Transm**, v. 117, p. 227–239, 2010.
- AZEVEDO, R. A. **Segurança viária para reduzir acidentes: aplicação nas rodovias federais BR-060 e BR-153**. Dissertação (Mestrado) — UFMT, 2006.
- BALBO, F. A. N. *et al.* Análise fatorial aplicada aos dados dos acidentes na br-277. **XLII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, XLII, p. 1–12, 2010.
- BALBO, F. A. N. *et al.* Análise multivariada aplicada aos dados dos acidentes da BR-277 entre 2007 e novembro de 2009. **XXIV ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**, XXIV, p. 1–12, 2010.
- BARTILOTTI, C. B. **Fatores da Senso-Percepção Relacionados à Atividade do Condutor no Sistema Trânsito: Construção e Validação de um Instrumento de Medida**. Tese (Doutorado) — UFSC, 2009.
- BR-277. **BR-277: Duplicação pela vida**. 2009. [Online; acesso em 09-Dezembro-2010]. Disponível em: <<http://www.blogger.com/profile/14957298826794959251>>.
- CHIGUTI. **Aplicação da Análise Multivariada na Caracterização dos Municípios Paranaenses Segundo suas Produções Agrícolas**. Dissertação (Mestrado) — UFPR, 2005.
- CID-10. **Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde**. OMS - Organização Mundial da Saúde. 2008. [Online; acesso em 15-Novembro-2010]. Disponível em: <<http://www.datasus.gov.br/cid10/v2008/cid10.htm>>.



CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2010**. 2010. [Online; acesso em 10-Dezembro-2010]. Disponível em: <<http://www.sistemacnt.org.br/pesquisacntrodovias/2010/>>.

CTB. **Código de Trânsito Brasileiro**. 2008. [Online; acesso em 15-Novembro-2010]. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/ctb.pdf>>.

DNIT. **Anuário Estatístico de Acidentes de Trânsito - 2009**. 2010. [Online; acesso em 15-Novembro-2010]. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes/anuario-2009.pdf>>.

ESQUARCINI, R. **Classificação e Ranqueamento dos Municípios Paranaenses Segundo suas Políticas Setoriais Através da Análise Multivariada**. Dissertação (Mestrado) — UFPR, 2005.

FERREIRA, M. V. R. P. G. *et al.* Estudo dos acidentes ocorridos na BR-277 em meses de férias por meio da análise multivariada. **MECOM - CILAMCE**, XXIX, p. 2279–2292, 2010.

FURTADO, M. E. *et al.* Ranqueamento de faxinais do estado do paraná através da análise fatorial. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, p. 85–99, 2003.

GOLD, P. A. **Traffic Safety: Using Engineering to Reduce Accidents**. Washington, EUA: Inter-American Development Bank, 1999.

HAIR, J. F. *et al.* **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New York: Prentice Hall, 2009.

HILLS, M. **Applied Statistics**. [S.l.]: Book Review, 1977.

HOTELLING, H. Analysis of a complex os statistical variables into principal components. **Journal of Educational Psychology**, v. 24, p. 417–441, 498–520, 1933.

IPEA; DENATRAN. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**. 2006. [Online; acesso em 15-Novembro-2010]. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos\\_acidentes\\_transito.pdf](http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos_acidentes_transito.pdf)>.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 2007.

KACHIGAN, S. K. **Multivariate statistical analysis**. New York: Radius Press, 1991.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, p. 187–200, 1958.

KIM, J. *et al.* Bicyclist injury severities in bicyclemotor vehicle accidents. **Accident Analysis and Prevention**, v. 39, p. 238–251, 2007.

LEE, J.-Y.; CHUNG, J.-H.; SON, B. Analysis of traffic accident size for korean highway using structural equation models. **Accident Analysis and Prevention**, v. 40, p. 1955–1963, 2008.

LIRA, S. A. **EFEITOS DO ERRO AMOSTRAL NAS ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DO MODELO FATORIAL ORTOGONAL**. Tese (Doutorado) — UFPR, 2008.

LIU, Z. Y.; WU, H. F.; HUANG, J. F. Application of neural networks to discriminate fungal infection levels in rice panicles using hyperspectral reflectance and principal components analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 72, p. 99–106, 2010.

MARQUES, A. F. Aplicação da análise multivariada na infraestrutura e no desempenho das escolas públicas do ensino fundamental e médio pertencentes ao núcleo regional de educação de paranavaí. **Acta Scientiarum**, v. 32, p. 75–81, 2010.

MARQUES, J. M. **Notas de Aula de Análise Multivariada**. Curitiba - PR: UFPR, 2010.

MILTON, J.; SHANKAR, V.; MANNERING, F. Highway accident severities and the mixed logit model: an exploratory empirical analysis. **Accident Analysis and Prevention**, v. 40, p. 260–266, 2008.

MINGOTI, S. A. **Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: Uma Abordagem Aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

Ministério dos Transportes. **Ministério do Transportes: Banco de Informações e Mapas dos Transportes**. 2010. [Online; acesso em 10-Dezembro-2010]. Disponível em: <<http://www2.transportes.gov.br/bit/trodo/br-277/gbr-277.htm>>.

MÜLLER, S. I. M. G.; CHAVES NETO, A. Programa de técnicas integradas para análise e avaliação de fornecedores. **RNTI - Revista Negócios e Tecnologia da Informação**, v. 2, p. 95–104, 2007.

OMS. **Global status report on road safety: time for action**. 2009. [Online; acesso em 10-Dezembro-2010]. Disponível em: <[http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241563840\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241563840_eng.pdf)>.

OZERENKO, A.; GYUL'MALIEV, A.; GAGARIN, S. Factorial analysis in selecting the zeolite catalyst for 2,6-dimethylnaphthalene synthesis. **Coke and Chemistry**, v. 50, p. 200–206, 2007.

PIRES, T.; MAIA, A. Relação entre saúde física e transtorno de estress pós-traumático em vítimas de acidentes rodoviários. **Série Ciência Social Ambiental**, v. 1, p. 14–26, 2009.

QUEIROZ, J. *et al.* Geochemical characterization of heavy metal contaminated area using multivariate factorial kriging. **Environmental Geology**, v. 55, p. 95–105, 2008.

RENCHE, A. C. **Methods of Multivariate Analysis**. New York: Wiley-Interscience, 2002.

ROY, K. *et al.* Copd phenotype description using principal components analysis. **Respiratory Research**, v. 10:41, p. 1–8, 2009.

SETR. **Mapa Político Rodoviário do Estado do Paraná 2010**. 2010. [Online; acesso em 10-Dezembro-2010]. Disponível em: <<http://www.der.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=43>>.

SILVA, L. C. P. **Análise Psicométrica do Inventário Multidimensional do Estilo de Dirigir**. Dissertação (Mestrado) — FFCLRP, 2004.

SITE-MERCOSUL. **Site do Mercosul**. 2010. [Online; acesso em 10-Outubro-2010]. Disponível em: <<http://www.mercosur.int>>.

SPEARMAN, C. General intelligence objectively determined and measured. **American Journal of Psychology**, v. 15, p. 201–293, 1904.

## APÊNDICE A – CÓDIGO UTILIZADO PARA DISCRETIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

```

Sub Desagrupar_Variáveis()
Dim i, j, n, k, p, l, m, w, s As Integer
Dim A(20, 39) As String
l = 0, n = 1, k = 0, p = 1, m = 1, w = 1, s = 1

Sheets("Plan3").Name = "Dados"

'contadores

While Sheets("BR_277").Cells(n, 1).Value <> Empty
    n = n + 1
Wend

While Sheets("BR_277").Cells(1, p).Value <> Empty
    p = p + 1
Wend

'cria vetores dentro da matriz A que contém os diferentes valores
'de cada variável

For q = 1 To p - 2
    For i = 2 To n - 1
        For j = 1 To 20
            If Sheets("BR_277").Cells(i, q).Value <> A(j, q) And
                Sheets("BR_277").Cells(i, q).Value <> "9999" Then
                k = k + 1
            End If
        Next j
        If k = 20 Then
            l = l + 1
            A(l, q) = Sheets("BR_277").Cells(i, q).Value
        End If
        k = 0
    Next i
    l = 0
Next q

'concatena as strings para formar os novos nomes das variáveis

```

```

For q = 1 To p - 2
  For i = 1 To 20
    If A(i, q) <> Empty Then
      Sheets("Dados").Cells(1, w).Value =
        Sheets("BR_277").Cells(1, q).Value + "_" + A(i, q)
      w = w + 1
    End If
  Next i
Next q

```

'coloca 0 ou 1, dependendo se a comparação for falsa ou verdadeira,  
'respectivamente

```

For q = 1 To p - 2
  While A(m, q) <> Empty
    m = m + 1
  Wend
  For i = 1 To m - 1
    For j = 2 To n - 1
      If A(i, q) = Sheets("BR_277").Cells(j, q).Value Then
        Sheets("Dados").Cells(j, s).Value = 1
      Else
        Sheets("Dados").Cells(j, s).Value = 0
      End If
    Next j
    s = s + 1
  Next i
  m = 1
Next q

End Sub

```

## APÊNDICE B – PROGRAMA ANÁLISE FATORIAL

Programa criado em FORTRAN 90, utilizando o compilador Microsoft PowerStation e algumas rotinas da biblioteca IMSL® (International Mathematics and Statistics Library). O critério de rotação varimax e o índice do MSA (medida de adequação da amostra de Kaiser-Meyer-Olkin) foram implementados utilizando como base as rotinas em Matlab® desenvolvidas por (MARQUES, 2010b).

```
!*****
!*****          Programa Analise_Fatorial          *****
!*****          Autor: Fábio André Negri Balbo      *****
!*****
!***** Realiza a análise Fatorial a partir da ma- *****
!***** triz de correlação, faz os testes de esfe- *****
!***** ricidade de Bartlett e MSA de Kaiser-Meyer *****
!***** -Olkin. Calcula os escores fatorais padro- *****
!***** nizados pelo método dos mínimos quadrados. *****
!***** O número de fatores escolhidos é dado pelo *****
!***** critério de Kaiser(número de fatores igual *****
!***** ao número de autovalores maiores que um), *****
!***** utiliza o critério de rotação varimax para *****
!***** os fatores obtidos na análise fatorial. En *****
!***** trada: um arquivo txt contendo o número de *****
!***** linhas da matriz de dados na primeira li- *****
!***** nha, o número de colunas na segunda linha *****
!***** e a matriz de dados a partir da terceira *****
!***** linha. *****
!*****
```

```
program Analise_Fatorial
```

```
use portlib
external wrcrn
integer :: i, j, k, m, cont1, l, p, n, dos, niter, iter
real*8 :: cont, rcond, det1, det2, detr, bart, chi2, pv, v, sr2, sq2, msa, gl
real*8, allocatable, dimension(:,:) :: x, xcov, evec, xcor, xfat, fat, xpad
real*8, allocatable, dimension(:,:) :: psi, psiinv, xnew, t, c, f1, f, g, w1
real*8, allocatable, dimension(:,:) :: r, q, xx1, r2, q2, evec1, eval1di, g1
real*8, allocatable, dimension(:,:) :: aux, xpeso, peso, xfatr, matr, x1, bb1
real*8, allocatable, dimension(:) :: xm, eval, xcom, xve, w, y1, y2, e1, e2
real*8, allocatable, dimension(:) :: b1, b2, m1, eval1
```

```

!*****Leitura dos Dados*****
open(1,file = "entrada.txt")

read(1,*) n,p

allocate(x(n,p), xcov(p,p), xcor(p,p), eval(p), evec(p,p), xcom(p))
allocate(xm(p), xve(p), fat(p,p), xpad(n,p), psi(p,p), psiinv(p,p))
allocate(y2(n), r2(p,p), q2(p,p), e1(n), e2(n), q(p,p), r(p,p),y1(n))

do k=1,n
    read(1,*) (x(k,l), l=1,p)
end do

close(1)

!*****Vetor de Médias Amostral*****
xm = 0.d0
do i = 1, p
    xm(i) = sum (x(:,i) )/n
end do

!*****Matriz de Covariância Amostral*****
xcov = 0.d0
cont = 0.d0
do j = 1,p
    do k = 1,p
        if (j <= k) then
            do i = 1,n
                cont = cont + (x(i,j) - xm(j)) * (x(i,k) - xm(k))
            end do
            xcov(j,k) = 1.*cont/(n-1)
            xcov(k,j) = xcov(j,k)
            cont = 0.d0
        end if
    end do
end do

!*****Matriz de Correlação Amostral*****
xcor = 0.d0
do j = 1,p
    do k = 1,p
        if (j <= k) then
            xcor(j,k) = xcov(j,k)/sqrt(xcov(j,j)*xcov(k,k))
            xcor(k,j) = xcor(j,k)
        end if
    end do
end do

!*****Padroniza as Variáveis Originais*****
do i = 1,p
    do j = 1, n

```

```

        xpad(j,i) = (x(j,i) - xm(i))/sqrt(xcov(i,i))
    end do
end do

!*****Calcula Autovalores e Autovetores*****
call devcsf (p, xcor, p, eval, evec, p)

!*****Calcula os Fatores*****
m = 0
do i = 1, p
    if (eval(i) >= 1) then
        m = m + 1
    end if
end do

allocate(xfat(p,m), aux(m,m), xpeso(n,m), peso(m,p), matr(m,m), xfatr(p,m))
allocate(eval1(m), eval1di(m,m), evec1(m,m), f1(m,m), f(m,m), g(m,m))
allocate(t(m,m), c(p,m), w1(p,m), g1(m,m))

do i = 1, m
    xfat(:,i) = sqrt(eval(i)) * evec(:,i)
end do

!*****Comunalidades*****
cont = 0.d0
do i = 1,p
    do j = 1, m
        cont = cont + (xfat(i,j))**2
    end do
    xcom(i) = cont
    cont = 0.d0
end do

!*****Variância Específica*****
do i = 1,p
    xve(i) = 1 - xcom(i)
enddo

!*****Teste de Esfericidade de Bartlett*****

!*****Fatoração Cholesky da Matriz Correlação*****
call dlfcfs (p, xcor, p, fat, p, rcond)

!*****Calcula o Determinante da Matriz Correlação*****
call dlfdss (p, fat, p, det1, det2)

detr = det1*(10**det2)
bart = -(n-1-(2.*p+5+0.)/6)*log(detr)
v = p*(p-1+0.)/2
gl = 0.95
chi2 = dchiin(gl,v)

```



```

pv = 1. - dchidf(bart, v)

!*****Rotação Varimax*****
iter = 0
do i = 1, m
  do j = 1, m
    if (i == j) then
      t(i,j) = 1.
    else
      t(i,j) = 0.
    end if
  end do
end do

niter = 100
do while (iter < niter)
  c = 0.d0
  w1 = 0.d0
  c = matmul(xfat,t)
  do i = 1, p
    do j = 1, m
      w1(i,j) = c(i,j)**3
    end do
  end do
  f1 = 0.d0
  f1 = matmul(transpose(c),c)
  f = 0.d0
  do i = 1, m
    do j = 1, m
      if (i == j) then
        f(i,j) = 1./p*f1(i,j)
      else
        f(i,j) = 0.d0
      end if
    end do
  end do
  g = 0.d0
  g = matmul(transpose(xfat),(w1 - matmul(c,f)))
  g1 = 0.d0
  g1 = matmul(g,transpose(g))
  eval1 = 0.d0
  evec1 = 0.d0
  call devcsf(m, g1, m, eval1, evec1,m)
  eval1di = 0.d0
  do i = 1, m
    do j = 1, m
      if (i == j) then
        eval1di(i,j) = 1./sqrt(eval1(i))
      else
        eval1di(i,j) = 0.d0
      end if
    end do
  end do

```

```

        end do
    end do
    t = 0.d0
    t = matmul(matmul(matmul(evec1,eval1di),transpose(evec1)),g)
    iter = iter + 1
end do

xfatr = matmul(xfat,t)

!*****Escores Fatoriais (Método dos Mínimos Quadrados)*****
do i = 1, p
    do j = 1, p
        if (i == j) then
            psi(i,j) = xve(i)
            psiinv(i,j) = 1/psi(i,j)
        else
            psi(i,j) = 0.
            psiinv(i,j) = 0.
        endif
    enddo
enddo

call dlinrg (m,matmul(matmul(transpose(xfat),psiinv),xfatr), m, aux, m)

peso = matmul(matmul(aux,transpose(xfat)),psiinv)
xpeso = transpose(matmul(peso,transpose(xpad)))

!*****Cálculo do MSA - Medida de Adequação da Amostra*****
do i = 1, p - 1
    do j = i + 1,p
        cont1 = 0
        do k = 1,p
            if ((i /= k) .and. (j /= k)) then
                cont1 = cont1 + 1
            end if
        end do
        allocate (w(cont1))
        cont1 = 0
        do k = 1,p
            if ((i /= k) .and. (j /= k)) then
                cont1 = cont1 + 1
                w(cont1) = 1.*k
            end if
        end do
        y1(:) = x(:,i)
        allocate(x1(n,cont1),xx1(cont1,cont1),bb1(cont1,cont1))
        allocate(b1(cont1),b2(cont1))
        do l = 1,cont1
            x1(:,l) = x(:,w(l))
        end do
        xx1 = matmul(transpose(x1),x1)
    enddo
enddo

```

```

        call dlinrg (cont1,xx1, cont1, bb1, cont1)
        b1 = matmul(bb1, matmul(transpose(x1),y1))
        e1 = y1 - matmul(x1,b1)
        y2(:) = x(:,j)
        b2 = matmul(bb1, matmul(transpose(x1),y2))
        e2 = y2 - matmul(x1,b2)
        r(i,j) = dot_product(e1,e2)/sqrt(dot_product(e1,e1)*dot_product(e2,e2))
        r(j,i) = r(i,j)
        r(i,i) = 0.d0
        r(i+1,i+1) = 0.d0
        deallocate(x1,xx1,bb1,b1,b2,w)
    end do
end do

do i = 1, p
    do k = 1, p
        r2(i,k) = xcor(i,k)**2
        q2(i,k) = r(i,k)**2
    end do
end do
sr2 = 0.d0
sq2 = 0.d0
do i=1,p
    do j=1,p
        if (i /= j) then
            sr2 = sr2 + r2(i,j)
            sq2 = sq2 + q2(i,j)
        end if
    end do
end do

msa = sr2/(sr2 + sq2)

!*****Nova Matriz para Segunda Análise Fatorial*****
cont = 0
cont1 = 0
do i = 1,p
    cont = cont + 1
    if (xcom(i) > 0.7) then
        cont1 = cont1 + 1
    end if
end do

allocate(m1(cont1),xnew(n,cont1))
cont = 0
cont1 = 0
do i = 1,p
    cont = cont + 1
    if (xcom(i) > 0.7) then
        cont1 = cont1 + 1
        m1(cont1) = cont
    end if
end do

```

```

        xnew(:,cont1) = x(:,cont)
    end if
end do

!*****Saída*****
open(2,file = "saida.txt")

write(2,11) msa
11 format("# MSA de Kayser-Meyer-Olkin #", 2/, &
    "msa = ", f12.6, 2/)

write(2,22) bart,v, chi2, pv
22 format( "# Teste de Esfericidade de Bartlett #", 2/, &
    "estatística do teste = ", t50, f12.6, 2/ &
    "chi-quadrado com ", f5.0, " g.l. = ",t50, f12.6, 2/ &
    "p-value = ",t50, f12.6, 2/)

write(2,*) "# Autovalor e variância explicada por cada fator #"
write(2,*) ""
write(2,*) "  Autovalor          Variância Explicada (%)"
do k = 1, p
    write(2,33) eval(k), 100.*eval(k)/sum(eval)
end do
33 format(f12.6, 15x, f5.2)

cont = 0
do k=1,m
    cont = cont + eval(k)
end do
cont = 100.*cont/sum(eval)
write(2,44) m, cont
44 format(2/, &
    "Var. Total explicada pelos ",i2," fatores = ",f5.2," %",2/)

write(2,*) "# fatores não rotacionados - Com. e Var. Específica #"
write(2,*) ""
write(2,*) ( i, i = 1, m)
do k=1,p
    write(2,1) k, (xfat(k,l), l=1,m), xcom(k), xve(k)
end do

write(2,*) ""
write(2,*) ""
write(2,*) " # Fatores Rotacionados (Varimax) - Com. e Var. Específica #"
write(2,*) ""
write(2,*) ( i, i = 1, m)
do k=1,p
    write(2,1) k,(xfatr(k,l), l=1,m), xcom(k), xve(k)
end do

write(2,*) ""

```

```

write(2,*) ""
write(2,*) " # Escores Fatoriais Rotacionados (Método Mín. Quadrados) #"
write(2,*) ""
write(2,*) ( i, i = 1, m)
do k=1,n
    write(2,1) k,(xpeso(k,l), l=1,m)
end do

write(2,*) ""
write(2,*) ""
write(2,*) "# Variáveis não eliminadas #"
write(2,*) ""
do k=1,cont1
    write(2,4) m1(k)
end do

open (3, file = 'matriznova.txt')

write(3,*) n
write(3,*) cont1
do k=1,n
write(3,3) (xnew(k,l), l=1,cont1)
end do

3 format(<cont1>f5.1)
1 format(i3,<p>f12.3)
4 format(f3.0)

close(2)
close(3)

dos = system("notepad saida.txt")
dos = system("notepad matriznova.txt")

end program Analise_Fatorial

```

# ANEXO A – QUILOMETRAGEM DA BR-277 DE ACORDO COM O MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

TABELA 14: QUILOMETRAGEM OFICIAL DA BR-277

local de início - local de fim	início	fim	extensão	superfície federal
ponte sobre Rio Emboguaçu - acesso Paranaguá	0,0	5,0	5,0	pavimentada
acesso Paranaguá - entrada PR-407	5,0	6,5	1,5	duplicada
entrada PR-407 - entrada PR-508 (para Matinhos)	6,5	11,4	4,9	duplicada
entrada PR-508 (para Matinhos) - entrada BR-101/PR-408 (para Morretes)	11,4	23,9	12,5	duplicada
entrada BR-101/pr-408 (para Morretes) - acesso Morretes	23,9	29,1	5,2	duplicada
acesso Morretes - entrada BR-116(a) (contorno leste Curitiba)	29,1	70,6	41,5	duplicada
entrada BR-116(a) (contorno leste Curitiba) - entrada BR-376(a)	70,6	80,1	9,5	duplicada
entrada BR-376(a) - entrada BR-116(b)	80,1	92,9	12,8	duplicada
entrada BR-116(b) - entrada BR-476(b)	92,9	93,8	0,9	duplicada
entrada BR-476(b) - acesso oeste Curitiba	93,8	107,5	13,7	duplicada
acesso oeste Curitiba - acesso Campo Largo	107,5	121,9	14,4	duplicada
acesso Campo Largo - entrada PR-510 (para Batéias)	121,9	124,3	2,4	pavimentada
entrada PR-510 (para Batéias) - entrada PR-423	124,3	130,3	6,0	pavimentada
entrada PR-423 - acesso fábrica cimento Itambé	130,3	134,0	3,7	pavimentada
acesso fábrica cimento Itambé - acesso santa	134,0	140,6	6,6	pavimentada
acesso Santa - entrada BR-376(b)/PR-428 (São Luiz Purunã)	140,6	147,3	6,7	duplicada
entrada BR-376(b)/PR-428 (São Luiz Purunã) - acesso colônia Witmarsun	147,3	153,7	6,4	pavimentada
acesso colônia Witmarsun - entrada PR-427	153,7	164,6	10,9	pavimentada

continua

local de início - local de fim	início	fim	extensão	superfície federal
entrada PR-427 - entrada PR-151(a) (para Palmeira)	164,6	175,9	11,3	pavimentada
entrada PR-151(a) (p/palmeira) - entrada PR-151(b)	175,9	177,6	1,7	pavimentada
entrada PR-151(b) - entrada PR-438	177,6	240,6	63,0	pavimentada
entrada PR-438 - entrada BR-153 (para Iratí)	240,6	245,3	4,7	pavimentada
entrada BR-153 (para Iratí) - acesso Iratí	245,3	249,0	3,7	pavimentada
acesso Iratí - ponte sobre Rio Ponte Alta	249,0	281,1	32,1	pavimentada
ponte sobre Rio Ponte Alta - entrada PR-160 (para Prudentópolis)	281,1	286,1	5,0	pavimentada
entrada PR-160 (para Prudentópolis) - entrada BR-373(a)/PR-452 (Relógio)	286,1	304,0	17,9	pavimentada
entrada BR-373(a)/PR-452 (Relógio) - acesso Vila Guará	304,0	327,3	23,3	pavimentada
acesso Vila Guará - acesso Guarapuava	327,3	343,9	16,6	pavimentada
acesso guarapuava - entrada BR-466 (para Guarapuava)	343,9	349,4	5,5	pavimentada
entrada BR-466 (para Guarapuava) - entrada PR-170	349,4	355,1	5,7	pavimentada
entrada PR-170 - entrada PR-364	355,1	373,1	18,0	pavimentada
entrada PR-364 - entrada BR-373(b) (Três Pinheiros)	373,1	403,4	30,3	pavimentada
entrada BR-373(b) (Três pinheiros) - acesso Cantagalo	403,4	425,9	22,5	pavimentada
acesso Cantagalo - acesso Virmond	425,9	434,7	8,8	pavimentada
acesso Virmond - entrada BR-158 (Laranjeiras do Sul)	434,7	458,5	23,8	pavimentada
entrada BR-158 (Laranjeiras do Sul) - entrada PR-473	458,5	480,7	22,2	pavimentada
entrada PR-473 - Acesso Guaraniaçu	480,7	521,9	41,2	pavimentada
acesso Guaraniaçu - entrada PR-471(a) (Mato Queimado)	521,9	532,5	10,6	pavimentada
entrada PR-471(a) (Mato Queimado) - entrada PR-471(b)	532,5	552,7	20,2	pavimentada
entrada PR-471(b) - acesso São João do Oeste	552,7	575,7	23,0	pavimentada
acesso São João do Oeste - entrada PR-180	575,7	583,6	7,9	pavimentada
entrada PR-180 - entrada BR-369/467 (para Cascavel)	583,6	587,7	4,1	pavimentada
entrada BR-369/467 (para Cascavel) - acesso oeste Cascavel	587,7	597,7	10,0	pavimentada
acesso oeste Cascavel - entrada BR-163/PR-182 (para Capitão Leônidas Marques)	597,7	605,7	8,0	duplicada
entrada BR-163/PR-182 (para Capitão Leônidas Marques) - Santa Teresa do Oeste	605,7	612,4	6,7	pavimentada
Santa Teresa do oeste - entrada PR-488	612,4	635,5	23,1	pavimentada
entrada PR-488 - início perímetro urbano Céu Azul	635,5	638,8	3,3	pavimentada

continuação

local de início - local de fim	início	fim	extensão	superfície federal
início perímetro urbano Céu Azul - fim perímetro urbano Céu Azul (trecho urbano)	638,8	640,8	2,0	pavimentada
fim perímetro urbano Céu Azul - entrada PR-590 (para Ramlândia)	640,8	653,3	12,5	pavimentada
entrada PR-590 (para Ramlândia) - início perímetro urbano Matelândia	653,3	657,6	4,3	pavimentada
início perímetro urbano Matelândia - fim perímetro urbano Matelândia (trecho urbano)	657,6	661,7	4,1	pavimentada
fim perímetro urbano Matelândia - início perímetro urbano Medianeira	661,7	670,4	8,7	pavimentada
início perímetro urbano Medianeira - entrada PR-495 (Medianeira) (trecho urbano)	670,4	674,0	3,6	pavimentada
entrada PR-495 (Medianeira) - fim perímetro urbano Medianeira (trecho urbano)	674,0	678,9	4,9	pavimentada
fim perímetro urbano Medianeira - início perímetro urbano São Miguel do Iguaçu	678,9	688,6	9,7	duplicada
início perímetro urbano São Miguel do Iguaçu - fim perímetro urbano São Miguel do Iguaçu (trecho urbano)	688,6	694,3	5,7	duplicada
fim perímetro urbano São Miguel do Iguaçu - Santa Terezinha do Itaipú	694,3	709,9	15,6	duplicada
Santa Terezinha do Itaipú - início pista dupla	709,9	711,3	1,4	duplicada
início pista dupla - acesso Foz do Iguaçu	711,3	726,9	15,6	duplicada
acesso Foz do Iguaçu - fim pista dupla	726,9	731,0	4,1	duplicada
fim pista dupla - aduana foz do Iguaçu	731,0	731,9	0,9	pavimentada
aduaana Foz do Iguaçu - front Brasil/Paraguai (Ponte da Amizade)	731,9	732,2	0,3	pavimentada
entrada BR-277 (ponte sobre Rio Emboguaçu) - Porto Paranaguá	0,0	2,9	2,9	pavimentada
entrada BR-277 - Paranaguá	0,0	8,1	8,1	duplicada
entrada BR-116 (contorno leste de Curitiba) - acesso São José dos Pinhais (av. Rui Barbosa)	0,0	3,9	3,9	duplicada
acesso São José dos Pinhais (av. Rui Barbosa) - entrada BR-476 (Curitiba)	0,0	9,4	9,4	duplicada
acesso oeste de Curitiba - ponte sobre o Rio Barigui	0,0	5,3	5,3	duplicada
acesso Santa - acesso fábrica cimento Itambé	0,0	8,4	8,4	pavimentada
acesso fábrica cimento Itambé - entrada PR-423	8,4	10,6	2,2	pavimentada
entrada PR-423 - entrada PR-510 (para Batéias)	10,6	16,6	6,0	pavimentada
entrada PR-510 (para Batéias) - acesso Campo Largo	16,6	19,1	2,5	pavimentada

FONTE: Retirado de Ministério dos Transportes (2010)



## ANEXO B – IMAGENS DOS QUILOMETROS MAIS PERIGOSOS



FIGURA 25: Quilômetro 74 - Curitiba  
FONTE: *Google Earth* (2010)



FIGURA 26: Quilômetro 74 - Curitiba  
FONTE: *Google Earth* (2010)

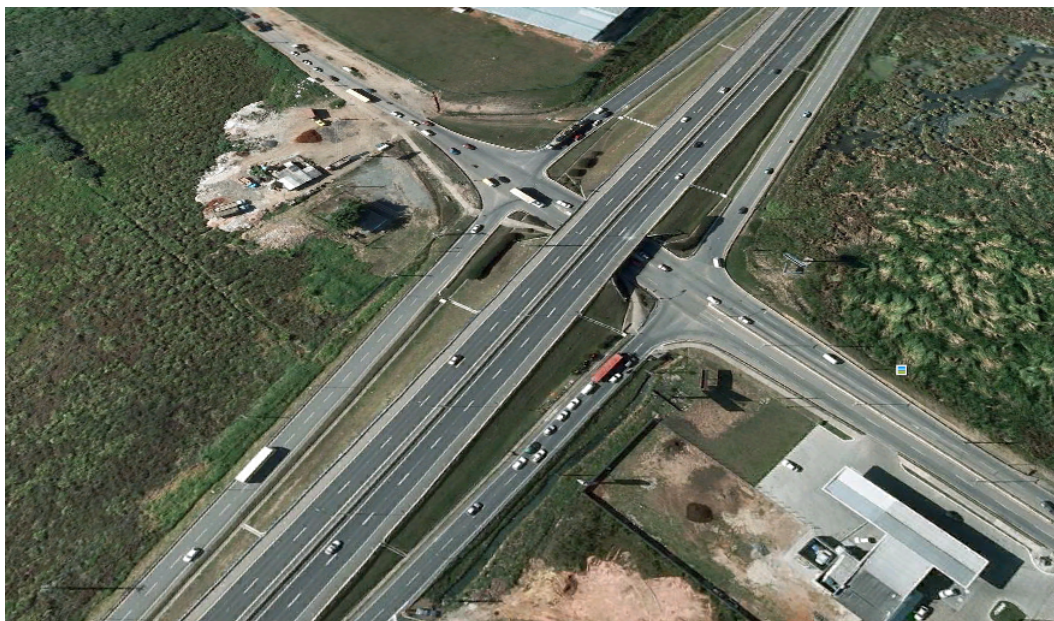


FIGURA 27: Quilômetro 74 - Curitiba

FONTE: *Google Earth* (2010)



FIGURA 28: Quilômetro 584 - Cascavel

FONTE: *Google Earth* (2010)



FIGURA 29: Quilômetro 584 - Cascavel

FONTE: *Google Earth* (2010)



FIGURA 30: Quilômetro 584 - Cascavel

FONTE: *Google Earth* (2010)





FIGURA 31: Quilômetro 584 - Cascavel

FONTE: *Google Earth* (2010)



FIGURA 32: Quilômetro 728 - Foz do Iguaçu

FONTE: *Google Earth* (2010)



FIGURA 33: Quilômetro 728 - Foz do Iguaçu  
FONTE: *Google Earth* (2010)



FIGURA 34: Quilômetro 726 - Foz do Iguaçu  
FONTE: *Google Earth* (2010)